



UNIVERSITÉ DE NANTES

UFR *Lettres et langages*
École doctorale *Cognition, éducation, interaction*
Centre de recherches en éducation de Nantes-CREN

Année 2010

N° bibliothèque :

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANTES

Discipline : Science de l'éducation
Spécialité : Didactique et histoire des sciences

Présentée et soutenue publiquement par

Patricia CRÉPIN-OBERT

le 6 janvier 2010

Construction de problèmes et obstacles épistémologiques à propos du concept de fossile :

étude épistémologique comparative entre des situations de débat à l'école
primaire et au collège et des controverses historiques du XVII^e au XIX^e siècle

Directeur de thèse : Christian ORANGE
Co-directeur : Gabriel GOHAU

JURY

Mme. Maryline COQUIDÉ, Professeur, Institut National de Recherche Pédagogique Lyon Rapporteur
Mme. Patricia SCHNEEBERGER, Professeur, Université de Bordeaux 4 Rapporteur
M. Philippe TAQUET, Professeur, Muséum national d'Histoire naturelle de Paris
M. Stéphane TIRARD, Professeur, Université de Nantes

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur Philippe Taquet qui me fait le très grand honneur de participer au jury de cette thèse. Je remercie aussi, Mesdames Maryline Coquidé et Patricia Schneeberger qui ont accepté de juger ce travail et d'en être les rapporteurs, ainsi que Monsieur Stéphane Tirard qui a accepté d'examiner cette thèse.

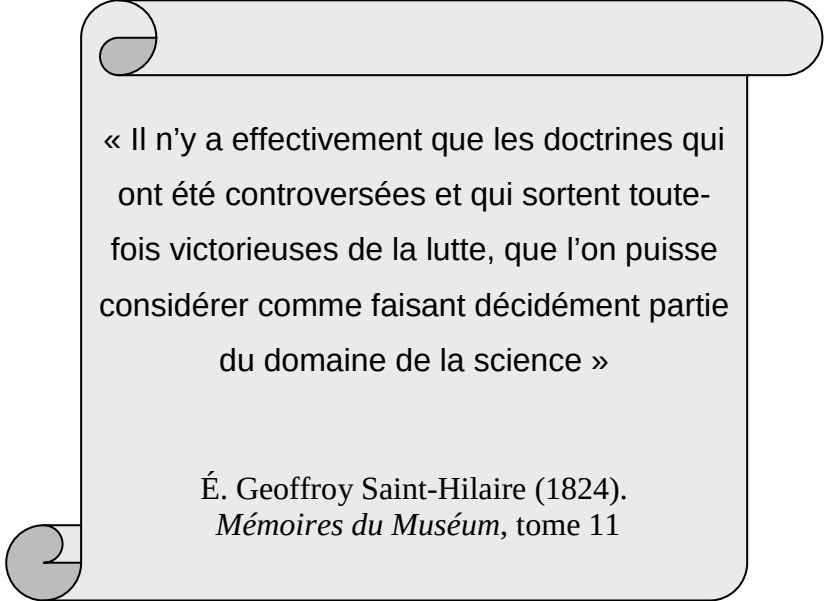
Lorsque Christian Orange puis Gabriel Gohau ont accepté de diriger cette thèse, j'ai pris espoir d'un travail fructueux. Ma confiance était fondée, qu'ils en soient tous deux remerciés, chaleureusement, pour avoir su guider et libérer ma pensée, pour avoir permis ce défi d'articuler didactique et histoire de la paléontologie par leurs précieux conseils. Merci à Christian Orange pour sa rigueur, ses nombreux commentaires et ses encouragements qui ont assuré la qualité de son accompagnement pour ma réflexion dans le domaine de la didactique des sciences, tout en canalisant ma recherche en histoire des sciences. Malgré l'éloignement géographique, les séminaires du CREN auxquels j'ai pu participer et les écrits de Michel Fabre qui dirige ce laboratoire, m'ont beaucoup apporté, entrant en résonance avec mon questionnement d'ordre épistémologique. Merci vivement à Gabriel Gohau pour sa disponibilité sans faille, sa rigueur et la richesse des discussions à Saint-Cloud qui ont su nourrir mes réflexions, tout en éclairant la pensée préscientifique des élèves. L'intérêt qu'il a porté à mon travail et ses encouragements m'ont permis d'aborder avec confiance et enthousiasme la partie historique.

Toute ma gratitude aux enseignants de la région de Besançon qui m'ont ouvert leurs portes de classe et m'ont témoigné leur confiance pour un travail collaboratif fécond. Merci plus particulièrement aux collègues dont les classes ont été retenues dans cette thèse, J.-P. Caré, Y. Favory et A. Marle. Merci aussi aux collègues ayant bien voulu s'engager dans des entretiens d'autoconfrontation, B. Angeli, P. Billerey et D. Jacob. Ces moments magiques de raisonner ensemble ont été portés par des échanges animés sur les débats en classe de sciences. Ma gratitude va aussi à R. Duflot, pour la qualité de son aide à la traduction latine. Nombreux sont aussi les collègues et bibliothécaires que je dois remercier pour leur intérêt manifesté de près ou de loin à ce travail, et pour leur aide.

L'année du DEA au Lirest de Cachan fut captivante par les échanges, les questionnements de recherche, la découverte des merveilleuses bibliothèques parisiennes mais aussi les rencontres. Je remercie, tout particulièrement, C. Lehman, dont la rencontre au DEA s'est traduite par une amitié solide et des discussions passionnées sur l'histoire de la chimie ou de la géologie, leurs méthodes, leurs outils, leurs « trésors ». Merci pour ses encouragements qui ont parfois vaincu mes doutes.

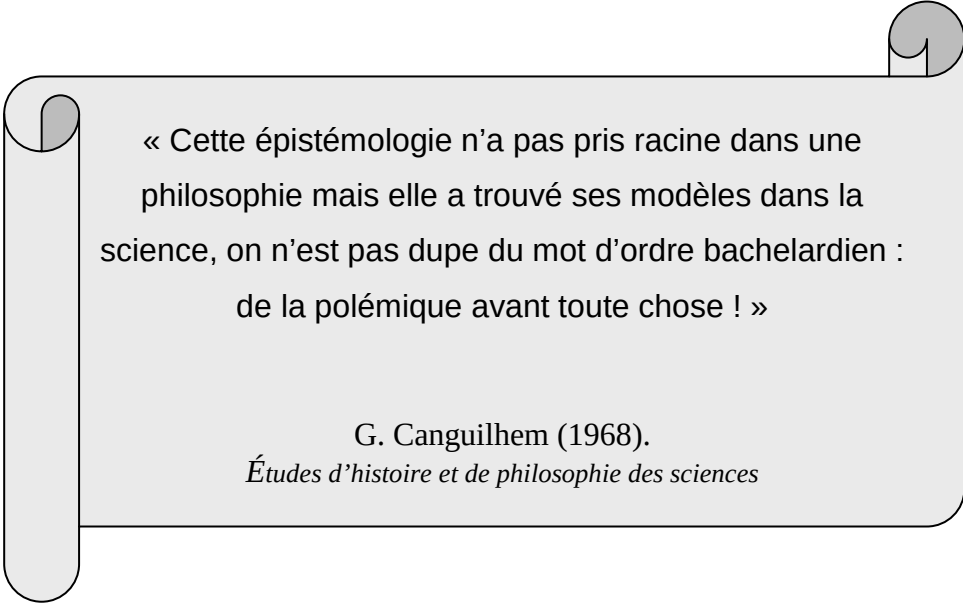
Une pensée plus spécifique pour l'association Quartz qui m'a initiée à la recherche en didactique de la géologie dans une convivialité pluricatégorielle et pluridisciplinaire hors norme. Cette qualité d'échanges, je l'ai retrouvé aux Journées internationales de Chamonix et, je la retrouve actuellement, dans le groupe de réflexion sur l'enseignement de la géologie –inrp-ens-iufm- coordonné par D. Orange.

Tous mes remerciements vont enfin à ma famille. Ma mère, pour sa grande disponibilité et sa participation à la relecture de chapitres. Mes enfants, Laetitia et Guillaume, pour leurs intérêts ou leurs regards critiques sur les hypothèses de travail de leur mère. Mon mari, François, pour son soutien et son humour. Je lui dois de m'avoir dévoilé initialement le mystère de la didactique. Tandis que jeune enseignant d'E.P.S., il tentait de m'expliquer ce concept, j'avais un enseignement sur le modèle des géosynclinaux dans les années 80 à la faculté de Besançon ! L'année suivante, j'enseignais le modèle de la tectonique des plaques en 1^{er} S en tant que professeur-stagiaire. Les « chocs épistémologiques » personnels sont loin d'être négligeables dans l'accompagnement de mon parcours professionnel.



« Il n'y a effectivement que les doctrines qui ont été controversées et qui sortent toutefois victorieuses de la lutte, que l'on puisse considérer comme faisant décidément partie du domaine de la science »

É. Geoffroy Saint-Hilaire (1824).
Mémoires du Muséum, tome 11



« Cette épistémologie n'a pas pris racine dans une philosophie mais elle a trouvé ses modèles dans la science, on n'est pas dupe du mot d'ordre bachelardien : de la polémique avant toute chose ! »

G. Canguilhem (1968).
Études d'histoire et de philosophie des sciences

INTRODUCTION.....	11
1. Choix d'une pratique langagière et d'une épistémologie associée : débat et problématisation en sciences.....	11
2. Choix d'un objet d'étude, les fossiles en débat et la naissance d'une discipline, la paléontologie.....	16
PREMIÈRE PARTIE : FONDEMENTS THÉORIQUES ET PROBLÉMATIQUE, VERS UNE APPROCHE ÉPISTEMOLOGIQUE DU CONCEPT DE FOSSILE EN DÉBAT.....	23
CHAPITRE 1 : DES IDÉES PLURIELLES GÉNÉRATRICES DE DÉBATS A PROPOS DES FOSSILES EN HISTOIRE DES SCIENCES : PREMIERS REPERES DE PROBLÉMATISATION ET D'OBSTACLE ÉPISTEMOLOGIQUE.....	23
1. 1 Une histoire d'objets paléontologiques, une histoire d'archives d'os et de coquilles.....	24
1. 2 Une histoire complexe d'idées foisonnantes et récurrentes à propos des fossiles	25
1. 3 Vers une histoire des débats, la controverse repérée Buffon-Voltaire.....	28
1. 4 Vers une histoire des grandes questions paléontologiques déclinées en problèmes et obstacles.....	30
1. 5 Des réflexions épistémologiques en paléontologie aux questions didactiques.....	35
Conclusion Chapitre 1 : des dialectiques envisagées pour la construction de la connaissance paléontologique.....	38
CHAPITRE 2 : REVUE DE SYNTHÈSE DES RECHERCHES EN DIDACTIQUE LIÉES A L'ENSEIGNEMENT ET AUX APPRENTISSAGES DE LA PALÉONTOLOGIE.....	39
2. 1 Les conceptions initiales des élèves en paléontologie.....	42
2. 1.1 Première approche, catégorielle : la diversité des conceptions et leur écart au savoir savant, repérage d'obstacles en sciences paléontologiques.....	42
2. 1.2 Deuxième approche, systémique : des systèmes explicatifs, des nœuds d'obstacles et des rapports aux savoirs.....	46
2. 1.3 Vers problématisation et débat, versus conflit socio-cognitif.....	52
2. 2 Spécificité d'une science historique à enseigner.....	55
2. 2.1 La place épistémologique de la paléontologie au regard d'autres disciplines sur le problème de l'origine de la vie, une science naturaliste.....	55
2. 2.2 La place épistémologique de la paléontologie dans la problématisation de l'origine de la vie, une science des modèles.....	57
Conclusion Chapitre 2 : Des paradoxes envisagés pour la construction de la connaissance paléontologique.....	61
CHAPITRE 3 : UNE PROBLÉMATIQUE EN ÉPISTEMOLOGIE COMMUNE A LA DIDACTIQUE ET A L'HISTOIRE DES SCIENCES.....	63
3. 1 Des modèles préscientifiques convergents.....	64
3. 2 Une posture d'enseignement orienté vers la conquête du sens d'un savoir construit et provisoire.....	66
3. 3 Une progression logique des problématiques libérant la critique et le questionnement.....	67
3. 4 L'histoire des sciences, laboratoire de l'épistémologie et référent didactique des pratiques.....	68
Conclusion Chapitre 3 : Vers une problématique de transposition didactique autour des objets fossiles.....	69
CHAPITRE 4 : UNE MÉTHODOLOGIE ADAPTÉE D'ÉTUDES DE CAS SCOLAIRES ET HISTORIQUES.....	73

4. 1 Méthodologie en histoire des sciences, des archives réduites.....	73
4. 1.1 La nécessité du retour aux sources historiques, l'espoir de textes inédits	73
4. 1.2 L'intérêt épistémologique de l'erreur, version rétrospective du progrès	75
4. 1.3 L'Histoire des sciences et sa relation aux savoirs actuels, seconde version du progrès.....	76
4. 2 Méthodologie en didactique, un potentiel important	78
4. 2.1 Garantie du débat argumentatif dans le système éducatif.....	78
4. 2.2 Débat argumentatif et temps de problématisation.....	78
4. 2.3 Partir des objets fossiles familiers de l'élève	79
4. 2.4 La conception du questionnement initial de l'enseignant pour la genèse d'un débat en classe	80
4. 2.5 L'analyse des productions d'élèves par l'enseignant et la conduite d'un débat ..	82
4. 3 La rencontre des études de cas historiques et scolaires.....	83
4. 3.1 Choix et intérêts des études de cas convergentes	83
4. 3.2 Une méthodologie commune d'analyse des corpus historique et scolaire dans le cadre théorique de la problématisation.....	83
4. 3.3 Une méthodologie commune d'analyse des corpus historique et scolaire dans le cadre théorique de l'argumentation.....	86
4. 3.4 Une méthodologie commune d'analyse des corpus historique et scolaire dans le cadre théorique du problème et du questionnement.....	88
4. 3.5 La logique de l'erreur, l'obstacle et la problématisation.....	89
Conclusion Chapitre 4 Des choix méthodologiques orientant la recherche ciblée sur la problématisation	90
CONCLUSION partie 1	91
DEUXIÈME PARTIE : PREMIÈRE ÉTUDE COMPARATIVE, LE PROBLÈME DE L'ORIGINE DES FOSSILES ET L'ARTIFICIALISME.....	95
CHAPITRE 5 : ÉTUDE DE CAS EN CM1, ÉPISODE SUR LA FABRICATION DES FOSSILES	95
5. 1 Place didactique de ce débat dans la séquence d'enseignement, présentation de l'étude de cas	96
5. 1.1 Conception de la séquence globale d'enseignement de la paléontologie.....	96
5. 1.2 Les situations antérieures autour de la classification des vivants : de l'analogie des vivants actuels et passés aux conceptions initiales sur fossile et fossilisation (3 séances)	98
5. 1.3 Le débat collectif à partir de quelques conceptions initiales sélectionnées : des objets fossiles aux phénomènes questionnés de fossilisation, disparition et transformation des vivants	99
5. 1.4 Les situations postérieures, une investigation plurielle : des objets fossiles à leurs origine, nature et formation (7 séances) ; différents rappels de l'obstacle artificialiste.....	100
5. 2 Le corpus de données, support du débat en classe : les conceptions initiales sur la nature et l'origine des fossiles, leur processus de formation	101
5. 2.1 Un outil transposable d'analyse des conceptions initiales	101
5. 2.2 Organiser la diversité des propositions écrites individuelles des élèves.....	103
5. 3 Les raisons en jeu dans l'épisode artificialiste du débat, analyse du débat dans le cadre de la problématisation.....	107
5. 3.1 Schématisation de l'espace-problèmes, choix d'une controverse artificialiste ..	107
5. 3.2 Vers la schématisation d'un espace de contraintes et de possibles	116
5. 3.3 Des mises en tension repérées au sein de l'espace de contraintes : représentation globale et analyse	123

5. 4 Approche langagière	127
5. 4.1 Lien entre problématisation et argumentation : Les fonctions argumentatives des activités langagières dans la problématisation	127
5. 4.2 Lien entre problématisation et questionnement d'élèves	130
Conclusion chapitre 5 : lien entre problématisation et travail sur l'obstacle artificialiste dans le cadre scolaire.....	133
CHAPITRE 6 : PROBLÈMES EN DÉBAT ET OBSTACLE « ARTIFICIALISTE » RÉCURRENT JUSQU'AU XVIII ^E SIÈCLE	137
6. 1 Extrait des dialogues galiléens de Jean-Baptiste Du Hamel, un état du savoir au XVII ^e siècle à propos des bélemnites et autres fossiles	138
6. 1.1 Premices d'une communauté savante discursive et mise en scène d'une science en débat	138
6. 1.2 La place des fossiles au sens moderne dans ce dialogue à dominante minéralogique.....	143
6.1.3 La référence aux anciens et à leur imaginaire : première approche épistémologique	146
6. 1.4 Deux obstacles bachelardiens revisités, l'expérience première et la connaissance générale : seconde approche épistémologique	149
6. 2 Une étude de cas d'une controverse entre J.-É. Guettard et Voltaire, un état du savoir au XVIII ^e siècle à propos des coquilles fossiles : l'émergence de la paléontologie	157
6. 2.1 La vie de Guettard, minéralogiste et son expertise des fossiles	157
6. 2.2 Le statut de son détracteur, Voltaire, par rapport au savoir paléontologique... ..	166
6. 2.3 Etude de la controverse Voltaire-Guettard.....	170
Conclusion chapitre 6 : lien entre problématisation et obstacles épistémologiques en histoire des sciences	198
CONCLUSION partie 2 : la polymorphie de l'obstacle artificialiste convergent et les problèmes associés à propos des fossiles	201
1. Comparaison globale entre le travail de problématisation des savants et celui des élèves	201
2. Points de convergence de l'obstacle artificialiste	203
3. Points de divergence de l'obstacle artificialiste	207
4. Problématisation et dépassement de l'obstacle par les savants et les élèves	208
TROISIÈME PARTIE : DEUXIÈME ÉTUDE COMPARATIVE, LE PROBLÈME DE LA NATURE DES FOSSILES ET L'ANIMISME PAR SEMENCE ET VÉGÉTATION SPONTANÉE.....	213
CHAPITRE 7 : ÉTUDE DE CAS EN CM1, ÉPISODES SUR LA CROISSANCE DES FOSSILES	213
7. 1 Les raisons en jeu dans les épisodes animistes du débat sur la végétation des fossiles : analyse du débat dans le cadre de la problématisation et de l'activité langagière de questionnement.....	213
7. 1.1 Vers la schématisation de l'espace-problèmes, choix d'une controverse animiste	213
7. 1.2 Problématisation et questionnement d'élèves	219
7. 2 Les raisons en jeu dans la controverse animiste principale du débat sur la végétation des fossiles : analyse du débat dans le cadre de la problématisation et de l'activité d'argumentation	221
7. 2.1 Vers la schématisation d'un espace de contraintes	221
7. 2.2 Représentation globale et analyse de l'espace de contraintes ; constat d'un temps de débat peu problématisant	225
7. 2.3 Pas de problématisation sans argumentation soutenue	228

Conclusion chapitre 7 : lien entre problématisation et travail sur l'obstacle animiste dans le cadre scolaire	229
CHAPITRE 8 : PROBLÈMES ET OBSTACLE RÉCURRENT DE LA SEMENCE MINÉRALE, EN DÉBAT JUSQU'AU XVIII ^E SIÈCLE	231
8. 1 Une étude de cas d'une controverse entre J-E Guettard, Voltaire et La Sauvagère, un état du savoir au XVIII ^e siècle à propos de la végétation des coquilles fossiles.....	232
8. 1.1 Le statut de La Sauvagère, détracteur de Guettard, dans la communauté savante du XVIII ^e siècle	233
8. 1.2 La problématique de la végétation des pierres et des coquilles et le système explicatif de La Sauvagère	235
8. 1.3 Discussion où Guettard examine le système de La Sauvagère	238
8. 1.4 Le cadre épistémique de Guettard en opposition à celui de La Sauvagère, les rapports complexes entre science et religion.....	252
8. 1.5 Analyse géologique actuelle des arguments des deux protagonistes	256
8. 2 La théorie récurrente des semences fossiles comme paradigme	266
8. 2.1 La théorie des semences fossiles au XVIII ^e siècle, une théorie pas si anachronique en lien avec la génération spontanée	266
8. 2.2 Antérieur au siècle des Lumières, le paradigme des semences dans la formation corrélée des pierres et des fossiles : Au XVI ^e siècle, le cas de Bernard Palissy, paléontologue pionnier dans un cadre de pensée liée aux semences	272
8. 2.3 Le paradigme des semences, conséquence des idées en minéralogie de la Renaissance jusqu'au XIX ^e siècle	280
Conclusion chapitre 8 : lien entre problématisation et obstacles épistémologiques en histoire des sciences	285
CONCLUSION partie 3 : la polymorphie de l'obstacle animiste convergent et les problèmes associés à propos des fossiles	293
1. Comparaison globale entre le travail de problématisation des savants et celui des élèves	293
2. Problématisations, argumentations convergentes et savoirs apodictiques	295
3. Une problématisation plus soutenue par les savants que par les élèves	298
4. Polymorphie de l'obstacle animiste	299
5. Mythe, obstacle et problèmes	304
QUATRIÈME PARTIE : TROISIÈME ÉTUDE COMPARATIVE, LE PROBLÈME D'IDENTITÉ DES FOSSILES PAR RAPPORT AUX FAUNES ACTUELLES ET L'ANALOGISME.....	307
CHAPITRE 9 : UNE ÉTUDE DE CAS EN CM2, LE PROBLÈME DE L'IDENTIFICATION D'UNE AMMONITE ET DE SA PARENTÉ AVEC UN ESCARGOT TERRESTRE	308
9. 1 Place didactique de ce débat dans la séquence d'enseignement, présentation de l'étude de cas	308
9. 1.1 Conception de la séquence globale d'enseignement de la paléontologie.....	308
9. 1.2 Les situations antérieures, un questionnement foisonnant et une investigation plurielle : de la diversité des objets fossiles à leurs origine, nature et formation (7 séances)	309
9. 2 Le corpus de données, support du débat en classe : les dessins des fossiles récoltés d'ammonites et les conceptions initiales sur leurs analogues vivants.....	311
9. 2.1 Une sortie géologique, un fort potentiel didactique (1 séance).....	311
9. 2.2 Des objets fossiles aux observations paléontologiques (1 séance)	313
9. 3 Les raisons en jeu dans le débat scolaire : analyse du débat dans le cadre de la problématisation	315

9. 3.1 Vers la schématisation de l'espace-problèmes, choix d'une controverse sur l'analogie des animaux fossiles et actuels.....	315
9. 3.2 Vers la schématisation d'un espace de contraintes	324
9. 3.3 Des mises en tension repérées au sein de l'espace de contraintes : représentation globale et analyse	329
9. 4 Approche langagière	333
9. 4.1 Lien entre problématisation et argumentation : les fonctions argumentatives des activités langagières dans la problématisation	333
9. 4.2 Lien entre problématisation et questionnement d'élèves	337
Conclusion chapitre 9 : lien entre problématisation et travail sur l'obstacle « analogiste »/ d'analogie en référence aux faunes actuelles dans le cadre scolaire.....	340
CHAPITRE 10 : UNE ÉTUDE DE CAS EN 4 ^{ème} DE COLLÈGE, LE PROBLÈME DE LA MISE EN HISTOIRE DES VIVANTS SUR TERRE	343
10. 1 Place didactique de ce débat dans la séquence d'enseignement, présentation de l'étude de cas	343
10. 1.1 Conception de la séquence globale d'enseignement en lien avec la paléontologie	343
10. 1.2 Des séances antérieures comme travail préparatoire préliminaire au débat, un questionnaire et son exploitation métacognitive par les élèves (2 séances).....	345
10. 2 Le corpus de données, support du débat en classe : les conceptions initiales des élèves questionnées sur l'apparition d'une diversité d'êtres vivants au cours des temps géologiques ainsi que leurs parentés	348
10. 2.1 Résultats diagnostic d'une classe de quatrième	348
10. 2.2 Emergence d'un questionnement concerté d'élèves	353
10. 3 Les raisons en jeu dans le débat scolaire, analyse du débat dans le cadre de la problématisation	355
10. 3.1 Schématisation de l'espace-problèmes, du questionnement aux raisons paléontologiques et biologiques	355
10. 3.2 Vers la schématisation d'un espace de contraintes et de possibles, du débat en classe à l'identification et la catégorisation des contraintes mobilisées par les élèves	365
10. 3.3 L'espace de contraintes en jeu : représentation globale et analyse des liens et mises en tension repérés.....	368
10. 4 Problématisation et approche langagière.....	371
10. 4.1 Lien entre problématisation et questionnement d'élèves au cours du débat : un changement de posture	371
10. 4.2 Lien entre problématisation et argumentation : les fonctions argumentatives des activités langagières dans la problématisation	376
Conclusion chapitre 10 : lien entre problématisation et travail sur les obstacles dans le cadre scolaire.....	379
CHAPITRE 11 : UNE CONTROVERSE PALÉONTOLOGIQUE AU XIX ^E SIÈCLE A PROPOS DE L'IDENTITÉ DES FOSSILES DE STONESFIELD A L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE PARIS	387
11. 1 Naissance de la géologie historique au début du XIX ^e siècle et les alternatives théoriques en 1830	388
11. 1.1 Le système de Lamarck a pu inspirer Geoffroy Saint-Hilaire	388
11. 1.2 Une partie des systèmes de Cuvier et de Lyell ont pu inspirer Blainville	391
11. 1.3 Des controverses multiples antérieures à 1838 mettant en lien la paléontologie avec d'autres disciplines, la zoologie et l'embryologie : Cuvier et Blainville contre Geoffroy Saint-Hilaire.....	400

11. 2 Une communauté scientifique divisée à l'Académie de Paris dans l'interprétation des fossiles de Stonesfield.....	406
11. 2 1 Buckland découvre un nouveau fossile dans le gisement jurassique de Stonesfield en Grande-Bretagne.....	407
11. 2 2 L'objet de la polémique : un fossile problématique faisant exception à la loi de progression des faunes fossiles	408
11. 2 3 Les protagonistes d'une communauté scientifique discursive	410
11. 3 Analyse approfondie du débat paléontologique de 1838 dans le cadre de la problématisation	415
11. 3 1 L'espace problème et l'architecture du questionnement.....	415
11. 3.2 Les logiques argumentatives antagonistes structurant un espace de contraintes	419
11. 3.3 Des cadres épistémiques effectivement antagonistes liés au poids accordé aux caractères différents par rapport aux caractères ressemblants	430
11. 4 Conclusion : lien entre une problématisation associant la paléontologie stratigraphique à la paléontologie évolutive et des obstacles épistémologiques liés au progrès des faunes	439
11. 4.1 La problématique de la progression des faunes en tension avec de nombreux obstacles	439
11. 4.2 La clôture de la controverse en France, en Europe	443
11. 4.3 Le mythe du progrès est toujours présent dans l'actualité scientifique.....	447
CONCLUSION partie 4 : l'analogie, principe de raison ou obstacle, et les problèmes paléontologiques associés en référence à la faune actuelle.....	449
1. Comparaison globale entre le travail de problématisation des savants et celui des élèves	449
2. Les différentes facettes de référence à l'actuel	451
3. Difficulté d'une mise en histoire scientifique et pluridisciplinaire	455
CINQUIÈME PARTIE : SYNTHÈSE ET MISE EN PERSPECTIVE DES TROIS ÉTUDES COMPARATIVES SCOLAIRES ET HISTORIQUES : DISCUSSION SUR LES FONCTIONS ÉPISTEMOLOGIQUES ET DIDACTIQUES DES CONTROVERSES	459
1. La fonction heuristique plurielle des controverses dans le questionnement et la problématisation à propos des fossiles	460
1. 1 La fonction heuristique des controverses en histoire de la paléontologie.....	460
1. 2 La fonction heuristique des désaccords en didactique	463
2. La fonction argumentative des controverses en paléontologie	466
2. 1 Problématisation et argumentation : se repérer entre un registre empirique et un registre des modèles mis en tension	466
2. 2 Problématisation et caractère apodictique des savoirs : possible et nécessaire dans la construction des concepts paléontologiques	470
3. La fonction théorique des controverses : problématisation et obstacles épistémologiques	478
3. 1 Une articulation entre problématisation et obstacle	478
3. 2 La problématisation est freinée par les obstacles	481
3. 3 La problématisation est activée par les obstacles.....	483
3. 4 Polymorphie des obstacles, un recours nécessaire à l'histoire des sciences	484
3. 5. Le raisonnement par analogie, principe de raison et obstacle.....	488
4. L'évolution des discussions en histoire des sciences et leurs intérêts didactiques pour les situations débats en milieu scolaire	492
4. 1 Des dialogues construits sur le modèle philosophique antique au « débat paléontologique » du XIX ^e siècle.....	492

4. 2 Justification d'un modèle didactique d'enseignement par problématisation et débat scolaire	496
CONCLUSION : CONTRIBUTIONS SCIENTIFIQUES ET PERSPECTIVES AUTOUR D'UN SAVOIR PALÉONTOLOGIQUE ISSU DE CONTROVERSES.....	499
1. La nature des nécessités à construire en classe en regard de l'histoire des sciences	499
2. Des nécessités conditionnelles en résistance avec un obstacle polymorphe.....	501
3. Perspectives de l'usage des controverses pour la formation scientifique des enseignants :	504
BIBLIOGRAPHIE	509
1 Histoire des sciences, histoire de la géologie et de la paléontologie.....	509
2 Didactique des sciences, didactique de la géologie et de la paléontologie	525
3 Épistémologie, philosophie, histoire et enseignement des sciences.....	530
4. Sciences de l'éducation et Formation des enseignants.....	532
TABLE DES ANNEXES.....	535
TABLE DES ILLUSTRATIONS	539
Iconographies	539
Schémas.....	540
Tableaux.....	542
ANNEXES	547
Projet de classe et situation de débat en CM1 sur l'origine des fossiles.....	547
Controverse historique au XVII ^e siècle sur l'origine des pierres et des fossiles.....	589
Controverse historique au XVIII ^e siècle sur l'origine des fossiles	615
Projet de classe et situation de débat en CM1 sur la nature des fossiles.....	643
Controverse historique au XVIII ^e siècle sur la nature des fossiles	649
Projet de classe et situation de débat en CM2 sur l'identité d'un fossile.....	655
Projet de classe et situation de débat en 4 ^{ème} sur l'histoire des vivants sur Terre.....	683
Controverse historique au XIX ^e siècle sur l'identité d'un fossile et l'histoire des vivants sur Terre	725

INTRODUCTION

Apprendre, enseigner et former en Sciences de la Terre requiert, comme toute relation au savoir, la prise en compte de stratégies individuelles d'apprentissages, la considération d'un certain art du pédagogue et l'expertise d'un cheminement didactique pour « rendre le savoir transparent et accessible » (Meirieu, 1993, p. 80). Plus particulièrement, cette recherche en didactique des sciences tend à préciser les spécificités de l'apprentissage et de l'enseignement de la paléontologie à travers son histoire et quelques situations de classe du primaire et du secondaire. Une authenticité dans les processus de cet apprentissage et de cet enseignement sera décryptée à travers certains **fondements de la construction de la connaissance paléontologique** : la mise en débat des idées, l'émergence de problèmes scientifiques et d'obstacles épistémologiques, l'argumentation naviguant entre théorie et pratique, entre modèles explicatifs et observations empiriques de terrain, si chers aux naturalistes.

1. Choix d'une pratique langagière et d'une épistémologie associée : débat et problématisation en sciences

L'évolution des instructions officielles des programmes en Sciences de la vie et de la Terre manifeste une volonté de libérer la parole des élèves, tant à l'école primaire qu'au collège¹. De la classe dialoguée, menée par l'enseignant, au débat interne entre élèves, les différentes prescriptions ministérielles préconisent aux enseignants de prendre en compte l'hétérogénéité de leur classe et de la mobiliser dans une construction collective des savoirs. Les **situations d'enseignement sous formes dialoguées** sont des artifices pédagogiques qui ont été très tôt utilisés. Ainsi, au V^e siècle avant J-C, les dialogues platoniciens ont contribué à valoriser l'éducation philosophique des jeunes athéniens, dispensée par Socrate. Son art de la maïeutique devait faire accoucher les jeunes esprits des pensées plus ou moins conscientes, en menant une réflexion dialectique soutenue par une mise en questionnement. Elle avait comme but la recherche de la vérité sur la nature humaine. Cette stratégie a été une source d'inspiration par de nombreux scientifiques, dont un des dialogues les plus renommés est

¹ Les programmes concernés sont ceux de 2002 modifié légèrement en 2007 pour l'enseignement primaire aboutis sous l'impulsion d'abord de l'opération innovante de la main à la pâte (lmap) par l'académicien Georges Charpak débuté en 1995 et sous la directive de Jean-Pierre Sarmant, Inspecteur général de l'Education nationale, président du comité de suivi national du plan de rénovation des sciences à l'école (Preste) en juin 2000- juin 2003. Les nouveaux programmes du collège (de la rentrée 2004 en 6^e à la rentrée 2008 en 3^e) sont inspirés du même esprit d'investigation scientifique pour redonner le goût des sciences au élèves et orienter leurs choix de filières en lycée.

celui écrit par Galilée², au XVII^e siècle. Il fut suivi par des académiciens français, en particulier Fontenelle, qui imagine un dialogue entre un savant et une marquise, jeux discursifs entre un discours savant et un discours galant, entre la raison de l'astronomie cartésienne et l'imaginaire de mondes habités sur d'autres planètes que la Terre (1687/1998). Quant à la « fiction éducative » de Rousseau, auprès de l'élève Emile, prônée au XVIII^e siècle (Fabre, 1999b), elle est aussi basée sur la participation active de l'élève à son propre apprentissage. Ces tendances pédagogiques anciennes s'inscrivent tout à fait en parallèle des fondements didactiques actuels, c'est à dire une co-construction par les élèves du savoir à partir de leurs propres connaissances mobilisées dans un cheminement intellectuel de recherche et de redécouverte.

Cerner l'apprentissage et l'enseignement des sciences revient à orienter notre réflexion dans un premier temps sur l'étroite relation entre débat et problème, permettant de mettre à jour la logique de la connaissance scientifique. Ceux-ci sont dépendants l'un de l'autre, dans la mesure où un problème scientifique véritable –c'est-à-dire compréhensible, avec un certain degré de complétude et d'ouverture, dont la ou les solutions ne sont pas connues d'avance - peut animer une communauté et l'engager dans une discussion, plus ou moins polémique, en vue d'une démonstration ou d'une réfutation. Une définition du problème met en valeur cette interaction dévoilant l'idée d'un discours argumentatif à développer : « ce qui est jeté dans la discussion et qui devient objet de débat » (Fabre, 1993, p. 73). Ces confrontations critiques et heuristiques sont révélatrices de l'authenticité de toute démarche scientifique. En l'occurrence, les débats historiques sont de véritables objets d'études épistémologiques dans la mesure où ils expriment, grâce à la « puissance polémique originelle », un autre esprit scientifique, des obstacles et des ruptures épistémologiques, une histoire d'une science périmée ou sanctionnée (Canguilhem, 1988/2000, p. 20). Aussi, problème et débat nous apparaissent constituer un « noyau »³ (Meirieu, 1989, 1993, p. 119-120) fédérateur en didactique des sciences à la fois, aux niveaux des apprentissages des élèves, de certaines pratiques enseignantes et, d'éclairages historiques possibles. En conséquence, ils nous donnent l'espoir d'une étude comparative féconde, en vue de faire émerger des repères didactiques pour la formation des enseignants. A partir du XX^e siècle, l'importance des rencontres entre scientifiques, lors des conférences ou des congrès, est reconnue comme indéniable pour la construction des concepts⁴. De même, le développement en Europe des « cafés scientifiques » permet divers débats, entre experts et novices dans un espace public, sur des problèmes actuels de recherches ou des questions socialement vives. Ce n'est pas sans

² Galilée, G. (1632/2000). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. Paris : Seuil.

³ Philippe Meirieu repère l'identification des notions-noyaux d'une discipline puis la « transformation d'une notion-noyau en situation-problème » dans les deux premières étapes d'un schéma général d'une démarche didactique déclinée en quatre temps qu'il propose. Cette idée est issue d'Astolfi, J.-P. (1987). Les 3 J de la pédagogie différenciée. *Cahiers pédagogiques*, n°251, 11-24.

⁴ Jacob, F. (1987). *La statue intérieure*. Paris : Folio.

rappeler les conférences publiques données par Bernard Palissy au XVI^e siècle (Raichvarg, 1991, p. 54).

Certains **constats empiriques des pratiques de débat en classe** ont été effectués, en formation initiale et continue, accompagnant les enseignants du premier degré dans leur réflexion professionnelle. Ces situations d'enseignement étaient vécues comme des plus délicates à mettre en œuvre. Ces stratégies pédagogiques de débat collectif étaient ressenties comme des séances à « haut risque » professionnel par les enseignants qui s'y essayaient, selon différentes remarques, parfois contradictoires : préjugé d'une pauvreté d'idées de la part des élèves, difficulté d'une analyse sérieuse de la diversité de leurs premiers modèles explicatifs, frayeur d'une multiplicité de questions d'élèves et d'une non-maîtrise instantanée de réponses académiques par le professeur, embarras d'une gestion optimale de la parole au sein de la classe.

En effet, les **premières recherches en didactique des sciences** préconisaient des temps scolaires d'exploitation des conceptions initiales, généralement erronées des élèves, afin de « faire avec pour aller contre » (De Vecchi & Giordan, 1989, p. 96). Dans la lignée de la pensée bachelardienne, ces discussions s'inscrivaient dans l'idée de rectifications successives individuelles car « L'esprit scientifique ne peut se constituer qu'en détruisant l'esprit non scientifique. » (Bachelard, 1940/2005, p. 8). Plus spécifiquement, une recherche propositionnelle en formation des maîtres, à propos des nouveaux concepts géologiques introduits dans les programmes de 1985 de l'école primaire⁵ (Deunff & Lameyre, 1990), montrait l'importance d'une confrontation des idées explicatives, exprimées en premières solutions au problème offert aux élèves par l'enseignant. Ces débats orchestrés devaient générer un véritable conflit socio-cognitif en référence à la psychologie sociale. Ils permettaient d'aboutir non seulement à une déstabilisation des obstacles, voire leur dépassement, mais aussi à une dévolution du problème du maître aux élèves (Brousseau, 1986). Les mécanismes de dévolution ou de monstration sont supposés complexes même en améliorant l'organisation d'un débat de classe entière ou en réduisant le nombre d'élèves (Johsua & Dupin, 1993, p. 206, p. 341).

Mais la situation-débat peut s'étudier au-delà des concepts didactiques véhiculés -tels la conception initiale, l'obstacle, le conflit socio-cognitif, ou encore la résolution de problème⁶-. Au-delà des écueils symétriques repérés, le pôle des « pédagogies de la réponse » et le pôle « des pédagogies du problème » (Meirieu, 1993, pp. 167-169), le **concept didactique de problématisation** (Fabre, 1993) soutient des potentialités épistémologiques d'une tout autre

⁵ 1985, *Ecole élémentaire. Programmes et instructions*, Centre National de Documentation Pédagogique et Ministère de l'Éducation Nationale, p. 52 en cours préparatoire « propriétés de quelques matériaux usuels », p. 52 en cours élémentaire « Le monde minéral : les sols et les roches » ; p. 54 « Les grands phénomènes géologiques : volcans, tremblements de terre » et « Science du vivant : l'évolution des vivants »

⁶ La démarche de formulation et résolution de problèmes scientifiques est le modèle pédagogique toujours préconisé au collège par le ministère (MENESR, 2007, p. 97)

dimension. Il envisagerait non pas d'écraser la problématique en se rabattant sur la solution mais au contraire de « déployer au maximum l'espace problématique » afin d'en « libérer le sens » (ibid., p. 87 et p. 94). En épistémologie concurrente, au sein du paradigme des situations d'enseignement-apprentissage centrées sur des problèmes, la problématisation s'affranchit d'une simple position ou résolution du problème. Elle relativise le statut de l'erreur, focalisant sur la vérité ou la fausseté des solutions, et elle préfère recentrer la réflexion didactique sur la pertinence des problèmes vrais en dénonçant l'illusion culturelle des problèmes préexistants ou faux problèmes. Tout en s'intégrant dans le cadre général de la transposition didactique, elle focalise sur un point crucial de formation à l'esprit scientifique, **la construction de problèmes**. L'étude des processus dynamiques de positionnement et de résolution dans la classe est retenue car « la joie d'apprendre ou le gai savoir ne sont pas à rechercher nécessairement hors des murs de l'école, mais dans l'exercice de la pensée authentique, laquelle consiste toujours dans le trajet qui va de l'étonnement à la réponse, en passant (phase essentielle) par la construction des problèmes. » (Fabre, 1999a, p. 223). Nous pouvons avancer, a priori, qu'il en irait de même du plaisir d'enseigner pour le professeur, par la réalisation de ces situations-problèmes, centrées sur la fécondité des interactions problème/solution dans la phase dynamique de construction du problème. Cette référence épistémologique de la construction des problèmes a été développée, plus particulièrement lors d'étude des processus d'enseignement-apprentissage en sciences de la vie et de la Terre. Trois caractéristiques des savoirs scientifiques les rendent opérant et les lient étroitement aux problèmes : ces savoirs permettent de résoudre des problèmes explicatifs, ces savoirs sont raisonnés et soumis à la critique- (Fabre & Orange, 1997). Le positionnement intellectuel en classe d'une problématisation exige le choix décisif de finaliser les problèmes scientifiques par l'identification d'un réseau de contraintes et non par la recherche absolue d'une solution « le savoir n'est pas découvert ou révélé, mais construit, par articulation raisonnée des possibles et du nécessaire » (Orange, 1997, p. 9). L'apodicticité est une spécificité essentielle du savoir scientifique conceptualisé. Ainsi, l'accès aux raisons s'effectue par le repérage d'un ensemble de nécessités rationnelles, mises en tension dans un système de contraintes empiriques et explicatives. Une étude de cas d'un débat scolaire et un détour historique, menés en géologie sur le concept de volcanisme (Orange, 1995, 2000, 2001), ont permis d'étudier les relations entre problématisation et conceptualisation lors des interactions langagières des élèves. Ces situations didactiques engendrent obligatoirement une co-construction des savoirs et éclairent un processus dynamique. Nous nous proposons donc de compléter ces recherches dans un domaine encore non exploré, dans le cadre théorique de la problématisation, la paléontologie.

Si dans les années 90 « une injonction à problématiser s'est répandue dans le système scolaire, de la maternelle à l'université » (Fabre, 2005, p. 7), l'incitation à débattre en classe est plus ponctuelle. Dorénavant, les **nouveaux programmes**, successifs de l'école primaire,

prescrivent aux enseignants d'installer « l'occasion, pour les élèves, de confronter leurs idées dans des discussions collectives et de chercher des réponses à leurs questions »⁷ ou de consolider la maîtrise de la langue française par « le questionnement et les échanges, la comparaison des résultats obtenus, leur confrontation aux savoirs établis, autant d'occasions de découvrir les modalités d'un débat visant à produire des connaissances »⁸. Cette seconde approche transversale est confirmée aussi dans les objectifs principaux des nouveaux programmes de collège⁹, sans pour autant expliciter l'intérêt de ce fonctionnement, ni même apporter des outils didactiques professionnels. Que ce soit sous le rapport de l'origine du savoir scolaire par une transposition didactique raisonnée (Chevallard, 1985), ou sa réactivation sous le rapport des activités scolaires par référence curriculaire aux pratiques sociales (Martinand, 2001a), la mise en œuvre de débats scolaires est institutionnalisée dans l'enseignement des sciences dans le premier et le second degré. De plus la portée de l'Histoire des sciences dans l'enseignement est clairement énoncée par le groupe d'experts sur la rénovation des programmes 2005 de collège¹⁰. Ainsi, l'intégration d'une « perspective historique permet de présenter les connaissances scientifiques comme une construction humaine progressive et non comme un ensemble de vérités révélées ». Motivation, curiosité et réflexion des élèves sur la construction des savoirs sont mises en avant. La pertinence de cette approche historique est associée au concept d'évolution des organismes vivants en lien avec l'histoire de la Terre, assurée depuis la rentrée 2008 pour les élèves de 3^{ème} de collège. Elle pointe uniquement la théorie de l'évolution sans mentionner les possibilités en paléontologie stratigraphique. Or, cette science historique offre une variété de raisonnements discutant les archives géologiques et la mise en histoire des vivants. C'est cet axe que nous nous proposons de développer, à savoir comment l'étude des fossiles a-t-elle préparé l'approche du concept d'évolution et comment le permet-elle encore aujourd'hui.

⁷ Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche, 2002, BO N°1-14février 2002-Hors série *Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire*, p. 54

⁸ Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 2007, BO N°5-12 avril 2007- Hors série *Mise en œuvre du socle commun de connaissances et de compétences* -, p.144

⁹ Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 2007, BO N°6-19 avril 2007- Hors série *Mise en œuvre du socle commun de connaissances et de compétences -Volume 2 -Programmes de l'enseignement des mathématiques, des sciences de la vie et de la Terre, de physique-chimie du collège*, p. 67 –Introduction générale - « Les activités proposées aux élèves les placent en situation [...] de s'exprimer à l'oral pour rendre compte d'un travail ou prendre part à un débat »

¹⁰ Ministère de la Jeunesse, de l'Education et de la Recherche, 2005, *La rénovation des programmes de collège. Consultation sur les projets proposés par le groupe d'experts -Introduction commune à l'ensemble des disciplines du pôle*, DESCO, p. 2 -www.eduscol.education.fr

Cette rénovation de l'enseignement des sciences dans les programmes de collège a été conduite par Jean-Pierre Sarmand, Inspecteur Général en Sciences Physiques et se situe dans la lignée des programmes 2002 de l'école primaire.

2. Choix d'un objet d'étude, les fossiles en débat et la naissance d'une discipline, la paléontologie

Cette pratique des situations de débats dans l'enseignement peut renvoyer, comme nous venons de le rappeler, à des pratiques sociales de référence (Martinand, 1985¹¹) autour de controverses scientifiques célèbres. Les plus étudiées dans le domaine des Sciences de la vie sont : celle résolue sur la génération spontanée microbienne entre Pouchet et Pasteur au XIX^e siècle ; celle sur l'évolution des vivants, initiée au début du XIX^e siècle par un courant transformiste lamarckien puis, démontrée en 1859 par l'ouvrage sur la sélection naturelle de Darwin et pourtant encore remise en cause aujourd'hui par des courants néocréationnistes ; et celle sur l'origine de la vie ayant commencé au début du XX^e siècle et non encore consensuelle, parfois déclinée comme « l'enfer des origines¹² ».

Des travaux de recherche historique mettent en valeur **des courants d'idées multiples sur la naissance du concept de fossile**, de l'antiquité jusqu'au début du XIX^e siècle. Cette divergence d'idées -essentiellement sur leur origine puis sur leur signification- à propos des objets récoltés, de tout temps, est étonnante par son foisonnement. Certaines récurrences ont donné lieu aux premiers « procès » des fossiles, signalés dès la Renaissance et récidivant jusqu'au siècle des Lumières (Ellenberger, 1988, 1994). Des jeux de hasard, préconisant une formation terrestre in situ voire sous l'influence d'une force céleste, aux anciens restes d'êtres vivants parfois disparus et indicateurs d'anciennes mers, en passant par les pierres figurées, les fossiles ont eu de multiples interprétations traduites par cette polysémie (Bouillet & Gaudant, 2000). Aujourd'hui, la communauté paléontologique s'entend principalement sur la définition suivante, « reste, trace ou moulage naturel d'organisme conservé dans des sédiments » (Foucault & Raoult, 2005, p.142). Mais cette définition, d'apparence univoque, masque la recherche, encore d'actualité, du domaine de compréhension et d'extension du concept de fossile. La conceptualisation est soumise à l'épreuve permanente de divers objets prélevés : que ce soient les mammouths gelés et leurs fragments d'ADN, les moulages artificiels d'Homo sapiens dans les cendres de Pompéi ou encore des fossiles d'échinodermes appelés longtemps "fossiles vivants" car l'espèce paléontologique paraît semblable à l'espèce zoologique actuelle (Lecointre & Le Guyader, 2001). Que d'aventures intellectuelles humaines pour comprendre la signification des fossiles au sens actuel, depuis le premier usage de ce terme dans la langue française par Richard Le Blanc en 1556 et ses dénominations multiples successives¹³

¹¹ Première réflexion didactique invoquant les pratiques sociales de référence ; elles constituent des repères de compétences liés à l'apprentissage des élèves pour un enseignement raisonné de la technologie au collège

¹² Reprise du titre d'un article du journal *Le Monde* du 16 octobre 1991, intéressant par la discussion engagée sur l'ensemble des modèles de filiations hypothétiques dans le règne des bactéries, par Catherine Vincent. La science peut être un véritable « casse-tête »

¹³ Richard Le Blanc en traduisant en 1556 l'ouvrage latin de Jérôme Cardan (1501-1576) *De Subtilitate*, employa « fossile » pour la langue française. D'autres expressions furent employées : « pétrifications » (Hooke, 1668),

(Gaudant, 1999, p. 430) ! Quels cheminements ont été parcourus, entre une approche initiale minéralogique « Fossiles sont les matières minérales, pour lesquelles recouvrer, faut creuser la terre » (Palissy, 1580/2004, p. 321), et l'émergence de la première définition de fossile par Lamarck en 1801 « Je donne le nom de fossile aux dépouilles des corps vivans, altérés par leur long séjour dans la terre ou sous les eaux, mais dont la forme et l'organisation sont encore reconnaissable » (p. 403). Quelle richesse épistémologique requiert la naissance de la paléontologie, définie pour la première fois par H. de Blainville en 1834¹⁴ (Piveteau, 1985) et institutionnalisée par la chaire de paléontologie du Museum national d'histoire naturelle de Paris en 1853, dont Alcide d'Orbigny fut le premier titulaire. Nos bornes d'étude historique en paléontologie seront ainsi justifiées et placées du milieu du XVI^e siècle où la minéralogie était encore prédominante, jusqu'au milieu du XIX^e siècle où le relais conceptuel sera pris ensuite par le transformisme.

Aussi, les fossiles soutiennent intrinsèquement un **paradoxe d'étude**. Ils sont matériellement porteurs d'évidence et de commun, en tant qu'objets courants de récolte, voire de collection, encore aujourd'hui. Néanmoins, ils sont conceptuellement porteurs de complexité, attestée par l'histoire des sciences, en lien avec la biodiversité actuelle et passée, ainsi que l'évolution parallèle recherchée entre la Terre et la vie. Le fossile, dénomination actuelle, recouvre à la fois, son objet d'étude ordinaire et son concept d'étude. Nous pouvons nous demander pourquoi des objets aussi proches de nous, remarqués depuis l'Antiquité et dont la relation avec l'évolution semble si évidente aujourd'hui, sont arrivés si tardivement à constituer une science paléontologique séparée de la minéralogie au XIX^e siècle. Ne serait-ce pas justement lié au concept, si difficile et si riche à théoriser, qui masque maints questionnements, investigations et problèmes non encore résolus. Les idées et les faits se sont succédé, voire opposés. Des théories précoces et des observations mal orientées ont offert un vaste champ à l'imagination. En conséquence, les spéculations, par exemple sur l'origine des fossiles, ont rapidement foisonné et les idées contradictoires ont coexisté, dont certaines ont perduré.

C'est sans doute pourquoi, par des débats passés et actuels, le concept de fossile a animé la communauté scientifique et a été **porteur de controverses**. En effet, si l'origine des fossiles, leur formation et leur signification, ont été discutées, ont-elles été pour autant disputées

« lapides sui generis » (Lister, 1671), « pierres idiomorphes » (Mercati, 1717), « fossiles étrangers à la terre » (Holbach, 1757), « fossiles accidentels » (Bertrand, 1763), etc.

¹⁴ Blainville était réputé pour aimer inventer des termes scientifiques. Proche collègue de G. Cuvier, il proposa auparavant en 1825 le terme de palæozoologie pour cette science nouvelle, « branche de l'histoire naturelle qui considère les animaux fossiles » dans un article de Cuvier, F. In *Dictionnaire des sciences naturelles* (Tome 37, p. 248). Paris : Levrault et Le Normant. Une définition similaire affiliée à M. de Blainville est présentée par Bory Saint Vincent en 1827 spécialement pour les mammifères dans le *Dictionnaire classique d'histoire naturelle* (Tome 12, p. 606). Paris : Rey et Gravier. Le terme de paléontologie plus large inclut aussi l'étude des végétaux fossiles. Il est tiré des mots grecs, *palaios*, ancien, et *onta*, les choses qui sont. Le premier article sur la paléontologie est écrit par A. Burat, Ingénieur civil, membre des Sociétés géologique et des sciences naturelles de France dans le *Dictionnaire pittoresque d'histoire naturelle et des phénomènes de la nature* sous la direction de Felix-Edouard Guérin (1837-1838). Alors que P. Tassy donne la date de 1822 pour l'invention du terme de « paléontologie » dans son article biographique sur Blainville (1997)

scientifiquement ? Les échanges académiques entre Buffon et Voltaire (Gohau, 1990b, pp. 158-160) révèlent que la question de l'origine des fossiles est controversée encore au XVIII^e siècle. Ce sont ces formes dialoguées des problématiques à propos des fossiles qui vont nous intéresser plus particulièrement. En effet, au sein d'une discussion scientifique, c'est l'hétérogénéité des points de vue de différents protagonistes qui nous apparaît comme la plus susceptible de déployer un développement argumentatif. Donc les controverses ou « nœuds argumentatifs » (Fabre, 1999a, p. 203), moments privilégiés du débat déterminés par une activité argumentative soutenue, seraient les temps les plus favorables à engager la construction d'un problème. La dimension de la controverse, plutôt que celle de l'énigme, est recherchée a priori. Nous retiendrons la définition suivante d'une controverse scientifique qui allie les dimensions sociologique et argumentative « une controverse scientifique se caractérise par la division persistante et publique de plusieurs membres d'une communauté scientifique, coalisés ou non, qui soutiennent des arguments contradictoires dans l'interprétation d'un phénomène donné. » (Raynaud, 2003, p. 8).

Des **controverses célèbres** sont en corrélation avec la conceptualisation de fossile. Elles se déroulent toutes au milieu du XIX^e siècle, après l'émergence de la paléontologie stratigraphique. Elles peuvent être fondées sur une croyance religieuse ou une idéologie scientifique plutôt que sur des raisons scientifiques apodictiques suffisantes (Canguilhem, 1988/2000, p. 44). Ainsi, le problème de l'origine des espèces, posé par Darwin selon la théorie de la sélection naturelle, a été considéré au départ comme une idéologie. Imperfection des archives géologiques et intermittence des strates fossilifères font que les diversités paléontologique et biologique n'étaient pas, alors, des faits suffisants pour garantir une théorie scientifique nouvelle de l'évolution des espèces (Darwin, 1859/1982, tome 2, pp. 57-154). Rappelons le fameux débat public, à forte audience, qui a opposé Thomas-Henry Huxley, zoologiste partisan de Darwin et Samuel Wilberforce, évêque d'Oxford, le 30 juin 1860 à la bibliothèque du nouveau musée d'Oxford (*The Athenaeum journal*, 1860, pp. 64-65). Plutôt qu'un débat scientifique, il est devenu une légende rhétorique à propos de l'ascendance simiesque supposée de Huxley en particulier, et de l'espèce humaine en général, tournant en ridicule le livre récemment paru de Darwin (Lepeltier, 2007¹⁵). L'entendement humain, touché dans son intégrité psychique et affective, n'accepte pas qu'animalité et humanité soient confondues. Cette communication révèle bien les représentations fixistes et anthropocentrées de l'époque. Science et religion s'opposent encore aujourd'hui. Les sempiternelles débats aux USA entre fondamentalistes religieux et « darwiniens » ont donné lieu à des doutes officiels ou à des suppressions de l'enseignement de la théorie de l'évolution dans les programmes scolaires dans certains états¹⁶ – au Kansas en 1999, en Georgie en 2004...) et à l'ouverture de

¹⁵ Lepeltier, T. (2007). *Darwin hérétique : l'éternel retour du créationnisme*. Paris : Seuil.

¹⁶ « Inquiétante offensive des créationnistes américains » *Le Monde* du 27 avril 2005

nombreux « musées de la Création »¹⁷. Ce courant néocréationniste ne peut être ignoré par sa recrudescence actuelle en Europe, défendant la notion de « dessein intelligent » depuis une décennie. Il fait l'objet de différentes parutions critiques dans les médias¹⁸ ou même dans la presse à comité de lecture scientifique (Steinberg & al., 2000). « Offensive créationniste obscurantiste » versus « escroquerie de l'évolution », les invectives des protagonistes ne manquent pas. Cette offensive nouvelle à la théorie de l'évolution, débat d'actualité, accepté par une minorité de scientifiques, tente d'avoir une répercussion sur les décisions institutionnelles des programmes scolaires européens. Elle a essayé, récemment, de toucher un large public dans le monde de l'éducation par un luxueux ouvrage de propagande (Yahya, 2007). Le choix orienté d'arguments essentiellement paléontologiques - la panchronie déclinée auparavant par les « fossiles vivants », le problème encore heuristique de l'origine de la vie sur Terre, la complexité de la machinerie biochimique cellulaire ne pouvant être l'œuvre du hasard - prend le relais de certaines démonstrations des naturalistes créationnistes réfutés au XIX^e siècle.

Parallèlement, en France, au XIX^e siècle, se déroulait le débat fort médiatisé entre Pasteur et Pouchet sur l'origine des micro-organismes, qui débute en 1859 par la lettre de réponse de Pasteur à Pouchet -ce dernier avait sollicité son avis sur la question des générations spontanées- et se poursuit jusqu'en 1865 (Cantor-Coquidé, 1993). L'impact des médias introduisit des dimensions idéologiques, mais le contenu des débats était bien scientifique : discussion des cadres théoriques sur la possibilité de production d'un nouvel être vivant par germe ou par un œuf spontané créé par une force plastique ; discussion des protocoles expérimentaux contrôlant l'entrée des germes dans l'air, l'eau et des substances fermentescibles ; discussion des résultats faisant apparaître ou pas des productions organisées. En définitive, les discussions au XIX^e, parfois encore d'actualité, à propos de la diversité biologique actuelle et passée, vivent et perdurent en opposant deux théories récurrentes qui coexistent : l'hétérogénie associant des créations successives et la génération spontanée, la transformation des espèces vivantes. Cette période transformiste ou préévolutionnisme borne notre recherche car ces discordes ne seraient-elles pas les réminiscences de débats originels passés ? Aujourd'hui, les fossiles sont parfois appelés les « *témoins de l'évolution* » dans les titres, soit de chapitres de manuels scolaires¹⁹ soit de revues scientifiques²⁰. Le concept de

¹⁷ Le « Dinosaur Adventure Land » est un parc en Floride qui a été ouvert en 2001 pour les familles chrétiennes qui rejettent la théorie de l'évolution en faveur des écrits de la Bible. Cf article « Dinosaur Fun for Christians Who Believe the Bible, Not Darwin », *Cahier du "Monde"* du 8 mai 2004, n° 18439. Le choix des concepteurs et visiteurs est motivé par l'envie d'être confortés dans leurs croyances et le renoncement à affronter intellectuellement une science crédible

¹⁸ Article du 8 mai 2004, «Dinosaur Fun for Christians Who believe the Bible, Not Darwin». *Cahier du monde* et l'article du 27 avril 2005, Inquiétante offensive des créationnistes américains, *Le Monde* ou l'émission du 19 septembre 2006, Dieu contre Darwin, *Arte*.

¹⁹ Bridier, C. & al. (1998). *Sciences de la Vie de la Terre. 4^e. Toutes options Cycle central*. Paris : Hatier. p 212.

²⁰Collectif (1996). *Les fossiles, témoins de l'évolution*. Paris : Pour la Science-Belin.

fossile peut avoir un statut admis de preuve évidente en soi de l'évolution, aujourd'hui par élèves et enseignants français, simplement en les nommant. Or, cette interaction conceptuelle, entre fossile et évolution, est une construction historique riche de découvertes passées et à venir, le « message des fossiles » a dû être décodé (Tassy, 1991a). Dans le sens commun, l'évocation des fossiles semble abusivement avoir acquis une synonymie avec l'évolution des espèces. Celle-ci apparaît, spécifiquement en France, comme un dogme scientifique synonyme de la sélection naturelle, d'après une analyse multivariée des conceptions des enseignants, de biologie et de lettres, du primaire comme du secondaire, a contrario d'autres pays européens, maghrébins ou proche-orientaux. Au sein des dix-neuf pays questionnés, le pourcentage des conceptions créationnistes des enseignants varie radicalement entre 2% et 95% (Quessada-Chabal, 2008). Ce concept intégrateur semble être aussi une évidence, non questionnée, établie dans les rapports personnels au savoir des professeurs des écoles primaires françaises à propos de fossile et d'évolution (Mairone & Dupin, 2008). L'adhésion massive des enseignants du primaire (96%) à l'idée d'évolution des espèces peut être interpellée car elle contraste avec les sondages où l'adhésion est plus réduite chez nos voisins européens britanniques (60%) et allemands (63%) ainsi qu'en outre-atlantique (25%), manifestation de la montée actuelle du créationniste. Ce rapport personnel n'est pas neutre car emprunt de convictions idéologiques et culturelles sous-jacentes. Des facettes contradictoires peuvent coexister dans le rapport personnel de l'enseignant au savoir à enseigner.

Dès lors, une **analyse épistémologique et critique des premières pratiques de débat à propos de fossiles** découverts s'impose en divulguant la place des arguments paléontologiques dans les premiers systèmes explicatifs d'alors. C'est en retournant aux sources des premiers débats à propos des fossiles que nous espérons mieux comprendre les fondements de la connaissance paléontologique intégrée dans une géologie historique (Gohau, 2003a) et assurer ses corrélations explicatives avec l'évolution. En ce sens, l'histoire des sciences peut être une source de textes fondateurs qui éclairent le fonctionnement d'une communauté scientifique en cours de construction d'un concept. Nous choisissons donc de limiter notre sujet d'étude à la paléontologie afin de mieux appréhender la construction d'un concept plus stabilisé que celui d'évolution des vivants, encore en cours de conceptualisation. En nous centrant sur le concept de fossile, nous envisagerons quatre instants historiques fondateurs de la paléontologie. Quelles sont les relations qui se sont construites entre les fossiles récoltés sur le terrain et l'émergence de l'idée d'évolution des espèces ? Comment ces objets peuvent-ils, avec raison, être considérés comme des preuves indiscutables de l'évolution ?

Ainsi, nos axes de recherche, problématisation en situation de débat scolaire et controverses scientifiques historiques peuvent se rejoindre dans le souci d'éclairer les choix d'une transposition didactique. Ils sont prometteurs d'être féconds à travers les premiers enseignements à l'école primaire et au collège ainsi qu'à travers les études initiales

balbutiantes en paléontologie. Au-delà de cette recherche un repérage est visé des **compétences professionnelles essentielles des enseignants** dans ces situations complexes et critiques d'enseignement-apprentissage où ceux-ci gèrent des débats « paléontologiques » autrement dits "scientifiques" (Johsua & Dupin, 1993, pp. 333-344). L'enseignant guiderait les élèves dans leur prise de conscience des problèmes fondamentaux liés au concept de fossile, tout en se faisant violence pour ne pas apporter des réponses. Des difficultés professionnelles sont constatées pour réussir à mener un débat en sciences (Orange, 2001 ; Altet, 2002). Dans la lignée de l'école bachelardienne (1938), deux courants complémentaires en didactique de la biologie se sont intéressés à ces nouvelles stratégies d'enseignement où les élèves doivent s'engager dans la construction de leurs savoirs. Les différents axes d'étude didactique révèlent un ensemble de variables à maîtriser. D'un côté, la prise en charge de l'hétérogénéité des conceptions initiales individuelles (Giordan, 1983 ?) et la catégorisation de divers obstacles en réseaux sont au cœur du dispositif didactique (Astolfi & Peterfalvi, 1997). D'un autre côté, le principe dynamique de l'apprentissage est une construction collective des problèmes scientifiques et des raisons nécessaires à cerner (Orange, 2000). Quels repères didactiques peut apporter l'analyse épistémologique d'un problème convergent, permettant de croiser une situation de débat lors d'un apprentissage scolaire et une controverse historique, étape dans la connaissance paléontologique ?

Nous faisons donc le choix d'une étude comparative historique et didactique à visée épistémologique. Le consensus des didacticiens est conforté vis-à-vis de l'absence d'un parallélisme naïf ou d'un « hypothétique isomorphisme des genèses historique et didactique » (Chevallard, 1985, p. 47). Il demande toutefois une illustration et un étayage dans le domaine des géosciences. A partir de quelques exemples concrets de discussions en paléontologie, l'intérêt sera porté sur le repérage d'une convergence et d'une dissonance dans la prise en charge d'un problème associé à un obstacle épistémologique, rencontrés à la fois en milieu scolaire et en histoire des sciences. Nous aborderons trois problèmes autour de la nature et l'origine des fossiles, à savoir les hypothèses d'une origine liée à l'homme, ou d'une origine in situ par végétation spontanée, ou encore d'une origine sédimentaire aquatique – dulçaquicole autochtone ou marine exotique. Puis, les problèmes scientifiques de l'identification d'un fossile et de la mise en histoire des êtres vivants sur Terre seront étudiés. Les premiers problèmes sont considérés, a priori, comme des problèmes de rupture, les seconds comme des problèmes normaux. Nous examinerons leur émergence et leur prise en charge selon les concepts et modèles didactiques qui génèrent un questionnement dans une perspective épistémologique des savoirs.

PREMIÈRE PARTIE : FONDEMENTS THÉORIQUES ET PROBLÉMATIQUE, VERS UNE APPROCHE ÉPISTEMOLOGIQUE DU CONCEPT DE FOSSILE EN DÉBAT

Dans une même visée épistémologique nous voudrions cerner les intérêts didactiques de mesurer le parallèle et l'écart entre des débats scolaires et historiques. D'emblée une complémentarité de ces deux niveaux d'étude est envisagée afin de mieux comprendre les processus de construction de la connaissance paléontologique. Pour comprendre les enjeux de la formation à l'esprit scientifique via les débats, rapprocher une étude historique d'un apprentissage scolaire du XXI^e siècle semble périlleux vu les différences obligées liées aux contextes sociaux et technologiques (Johsua & Dupin, 1993, p. 135). Mais il peut exister un « effet miroir » a priori remarquable entre les erreurs historiques et les erreurs scolaires (Astolfi & Peterfalvi, 1997, p. 200) ou un parallélisme partiel des constructions de problèmes entre la pensée historique et la pensée des élèves (Orange, 2003b). D'emblée nous nous détachons de l'idée d'une identité des obstacles et des problèmes ou de l'idée d'un récapitulonnisme des savoirs paléontologiques. Mais l'hypothèse des relations entre une pensée commune historique ou enfantine doit être soumise à vérification en paléontologie comme elle l'a été en géologie sur la formation des montagnes (Gohau, 1995b). Dans cette première partie nous devons envisager tout d'abord l'état de la question des problématiques paléontologiques en histoire des sciences puis l'état de la question des recherches didactiques sur les apprentissages et l'enseignement de la paléontologie. Ensuite nous verrons en quoi des interactions entre ces deux champs d'étude peuvent mener à des hypothèses constructives et fécondes en didactique de la paléontologie. Cette étude maintiendra comme cap de cerner les fonctions épistémologiques de débats dans ce domaine et de repérer les fonctions didactiques de l'histoire des sciences à travers les problèmes fondamentaux de la paléontologie.

CHAPITRE 1 : DES IDÉES PLURIELLES GÉNÉRATRICES DE DÉBATS A PROPOS DES FOSSILES EN HISTOIRE DES SCIENCES : PREMIERS REPERES DE PROBLÉMATISATION ET D'OBSTACLE ÉPISTEMOLOGIQUE

Voici retenus les repères principaux pour appréhender une problématisation dans l'histoire de la paléontologie selon un regard multiple relatant des discussions à propos du concept de fossile.

1. 1 Une histoire d'objets paléontologiques, une histoire d'archives d'os et de coquilles

Fascinés par le mystère des origines et la durée des temps géologiques, élèves et enseignants peuvent être conquis par la paléontologie qui les fait voyager dans le temps et dans l'espace à travers des débats enthousiastes actuels. La disparition des dinosaures et ses nombreuses hypothèses raisonnées, l'origine de l'homme sont toujours sur le devant de la scène scientifique et font partie de la culture populaire. Ces fossiles de **vertébrés** sont devenus familiers et satisfont notre imaginaire par les découvertes parfois spectaculaires d'ossements tels ceux gigantesques des dinosaures du désert de Gobi en Mongolie (Taquet, 2001) ou ceux plus proches de nous en France (Buffetaut, 1995)²¹. Ces reconstitutions scientifiques font autant rêver que leurs premières interprétations mythologiques de géants, de dragons ou de licornes. Quant aux échantillons plus rarissimes des hominidés, ils intéressent d'autant plus qu'ils interpellent affectivement nos origines et que leurs découvertes récentes bouleversent de façon inattendue les scénarios de l'hominisation à la recherche de notre ancêtre commun (Picq, 2005).

D'une paléontologie extraordinaire, nous préférons nous intéresser à une paléontologie plus commune à portée de tous. C'est pourquoi nous avons choisi de cibler préférentiellement les problématiques débattues à propos des **coquilles fossiles** et autres « invertébrés » fossilisés ceci pour trois raisons. D'une part ce sont ces fossiles (coquilles d'ammonites et de brachiopodes, rostrs de bélemnites, articles d'encrines, radioles d'oursins pour les plus communs) que nous récoltons avec nos classes de primaire et de collège dans la région géologique du Jura ; ils font partie du quotidien des élèves en zone rurale, répandus en abondance dans les champs labourés, les jardins, mis à jour en nombre conséquent à chaque travail de terrassement. Plus particulièrement les ammonites de par leur taille parfois importante, et la beauté de leur cristallisation interne sont toujours des objets de collections qui suscitent l'intérêt de notre jeune public. Et d'autre part comme ils ont beaucoup moins de succès médiatique, ils sont donc moins familiers aux élèves pour les reconstitutions paléontologiques que les grands vertébrés, ce qui libère un raisonnement moins soumis aux apports médiatiques. Enfin ce sont ces coquilles pétrifiées qui ont, les premières, éveillé la curiosité des naturalistes, qui les ont intrigués loin des côtes marines et qui déconcertent encore nos jeunes enseignants stagiaires de l'école primaire. Aussi ces fossiles observés

²¹ Buffetaut, É. (1995). *Dinosaures de France*. Orléans : Éditions du BRGM.

depuis longtemps illustreront au mieux les débuts de l'histoire de la pensée paléontologique. Aujourd'hui ils font beaucoup moins appel à notre imaginaire et pourtant ils ont été des objets de réflexions intenses libérant différents systèmes de pensée et d'interprétations plus ou moins fabuleux. Ils représentent en conséquence la genèse du concept de fossile.

Une histoire de la paléontologie a été admirablement retracée à travers l'étude des vertébrés en général (Buffetaut, 1991) ou des mammouths en particulier (Cohen, 2004). Il en est de même d'une histoire de l'anthropologie aux rebondissements récents (Picq, 2005). Par complémentarité en histoire de la paléontologie des « non vertébrés », celle ciblée sur une biographie des coquilles voire des ammonites nous semblait pertinente à reconstruire. Cette nouvelle logique de biographie des objets fossiles était défendue par S.J. Gould dans son livre sur la place évolutive de l'huître tenue par les biologistes du XX^e siècle²² « l'objet immuable devient alors une sorte de repère de niveau, de critère stable pour enregistrer la panoplie des théories et des approches qui lui sont appliquées » (Cohen, 2002, p. 37). Nous nous rallions à cette approche même si notre second fil directeur, la controverse historique, ne nous permettra pas de la tenir pour le dernier débat retenu au XIX^e siècle.

1. 2 Une histoire complexe d'idées foisonnantes et récurrentes à propos des fossiles

Nous retiendrons la pléthore **des systèmes contradictoires isolés**, plus ou moins surprenants sous le regard du naturaliste d'aujourd'hui, qui rivalisèrent de l'antiquité jusqu'au XIX^e siècle. Des explications mythologiques ou légendaires firent des associations bizarres concernant deux céphalopodes du mésozoïque par exemple. Les rostrs de bélemnites en forme de balle de fusil sont rapportés à des « pierres de foudre » tombées du ciel protégeant de l'orage, et les formes spiralées d'ammonites sont corrélées à des cornes de bélier de Jupiter Ammon. Ou encore les spirifers, brachiopodes de l'ère primaire dont certains genres présentent une coquille large et effilée leur donnant une allure très aérienne, ont été considérés au début du Moyen-âge comme des « hirondelles de pierre » qui volaient d'une montagne pendant les orages (Gohau, 1990a, p. 30). Puis les explications divergèrent mais restèrent toujours très fortement influencées par un cadre religieux sollicitant Dieu pour les créations et le Déluge pour l'extinction de quelques espèces. Des interprétations d'un autre ordre déclarèrent l'origine artificielle des rostrs de bélemnites expliqués comme des flèches par Gesner au XVI^e siècle (Bouillet & Gaudant, 2000, p. 590) ou encore les coquilles fossiles ressemblant aux petits coquillages de la mer de Syrie sont expliquées comme des restes de repas des pèlerins par Voltaire au XVIII^e siècle (Gohau, 1990b, p. 159). Puis enfin différentes

²² Gould, S.J. (1980). *The Evolution of Gryphea* (trad. C.Cohen). Arno Press.

causes naturelles petit à petit furent acceptées pour expliquer les fossiles et leur répartition dans les roches. L'origine organique vivante et les changements du milieu de vie (climat, déplacements des mers) furent démontrés.

Des inventaires comparatifs d'opinions d'auteurs (Ellenberger, 1994 ; Bouillet & Gaudant, 2000) montrent la coexistence entre des vues concurrentes anciennes et nouvelles. Bien avant le consensus de la communauté scientifique du XVIII^e siècle, des naturalistes exceptionnels, précurseurs de génie, s'exprimèrent sur l'origine organique aquatique des fossiles tels Léonard de Vinci (1452-1519) ou Bernard Palissy (1510-1589 ?) au XVI^e siècle. Par opposition des conformistes au XIX^e tels Alcide d'Orbigny (1802-1857) multiplient des catastrophes et créations successives alors que la paléontologie évolutionniste naissait. Absurdités inacceptables pour les uns, nécessités admissibles pour les autres, la récurrence est de règle jusqu'à l'acceptation définitive d'une cause naturelle démontrée par l'apport d'une preuve décisive. L'analogie entre vivants et fossiles a été souvent mobilisée de siècle en siècle depuis l'antiquité par de nombreux précurseurs (Hérodote, D'Arezzo, Vinci, Palissy, Colonna, Hooke)²³. Mais son statut décisif et définitif, attribué généralement à Sténon par son *Prodromus* en 1669, restait encore aléatoire. Et tant qu'il n'était pas unanimement reconnu, il pouvait être considéré comme une idée fantaisiste ou anecdotique parmi d'autres selon le réseau des connaissances admises de chaque époque. L'ouvrage remarquable d'Ellenberger (1988, 1994) constitue un véritable outil de recherche en histoire de la géologie. Les sources référencées, apparemment inépuisables qu'il déploie, donnent la multitude des richesses de la pensée géologique depuis l'antiquité jusqu'en 1810. Elles démontrent bien cette complexité de la pensée préscientifique et scientifique avec ce lent progrès des savoirs paléontologiques. Les systèmes successifs ou contemporains restent donc des œuvres individuelles où chaque protagoniste apportait son opinion et pensait pouvoir réfuter ses adversaires en multipliant les preuves favorables à son système. Les savoirs géologiques parcellaires antiques, médiévaux et de la Renaissance, vont faire place à un **savoir collectif** qui se structure pour mieux questionner les objets géologiques dès la seconde moitié du XVII^e siècle. Les créations des deux institutions, l'Académie des Sciences de Paris formée en 1666 par Colbert et la Société Géologique de France formée en 1830, constituent deux bornes historiques intéressantes pour marquer le fonctionnement de la communauté scientifique. La compréhension du monde devient l'œuvre collective d'une pensée commune. Alors des théories -théories diluvianistes, théories de la Terre, théorie globale de la tectonique des plaques lithosphériques et théorie synthétique de l'évolution- vont se succéder en se modifiant ou en étant réfutées. Comment est-on passé du singulier au régulier, des objets fossiles curiosité de collectionneurs au

²³ Hérodote (antiquité); Ristoro d'Arezzo (1282 ?) ; Léonard de Vinci (1508 ?). *Codex Hammer* ; Palissy (1580). *Discours admirables* ; Fabio Colonna (1616). *De Glossopetris Dissertatio* ; Hooke (1665). *Micrographia* & (1667). *A Discourse on Earthquakes*.

concept de fossile outil de chronostratigraphie et de biostratigraphie²⁴ pour le géologue d'aujourd'hui ?

La **pratique des échanges** au sein d'une société savante semble être une cause de ce développement : « les discussions scientifiques, soit face à face pendant les séances géologiques, soit par correspondance, étaient beaucoup plus importantes pour la résolution des problèmes et pour le progrès de la science que les publications formelles ou même que les sorties sur le terrain. » (Rudwick, 1995, p. 75). Cette conviction est exposée pour la vie des sociétés géologiques fondées au XIX^e siècle mais elle peut être généralisée au delà. Bernard Palissy peut être considéré comme l'instaurateur en France des échanges scientifiques. Il anima de 1575 à 1584 des conférences publiques menées dans la capitale et annoncées par affichage « Maître Bernard Palissy Inventeur des rustiques figulines²⁵ du Roy, et de la Roynne sa mère expliquerait tout ce qu'il avait appris des fontaines, des métaux et autres natures » (Nicolle, 1966, p. 49). Elles étaient appuyées par l'exposition de différents objets dont divers fossiles et cristaux qu'il avait récoltés lors de ses nombreux déplacements. Le premier cabinet des curiosités d'histoire naturelle était aussi né en France. Après cette initiative originale et personnelle au XVI^e siècle, c'est seulement au milieu du siècle suivant que des communications académiques, tant orales qu'écrites furent instituées. Les réunions hebdomadaires inaugurées à partir de 1666 par Colbert, les découvertes imprimées dans le *Journal des Savants* après l'assentiment de la Compagnie²⁶ dès 1667, un renouveau de la

²⁴ La chronostratigraphie est basée sur des divisions, ensemble de couches, caractérisées par des associations de fossiles indiquant l'âge relatif des roches. Ce sont des fossiles de grande extension géographique et de courte existence à l'échelle géologique tels les ammonites.

La biostratigraphie est une application de l'écologie à la paléobiologie. Elle s'intéresse donc aux associations de fossiles contenues dans une strate en déterminant si elles sont autochtones ou allochtones en rapport à l'origine de la roche sédimentaire encaissante. Le paléoenvironnement peut être reconstitué en s'aidant de disciplines connexes comme la paléoclimatologie. Ce terme fut créé en 1904 par Louis Dollo (Furon, 1951, p. 117)

²⁵ Figuline : ancien vase de terre cuite

²⁶ Nom donné à l'assemblée ordinaire de l'Académie. Une évolution notable est repérée dans la communication de cette nouvelle société savante. Le 15 janvier 1667, l'Académie décide que ses délibérations demeureront secrètes et ne pourront être diffusées à l'extérieur sans son consentement (registre des séances vol 1, p. 200). Le 23 mars 1667, il est décidé que les découvertes pourront être imprimées dans le *Journal* après avoir été communiquées à la Compagnie (Procès-verbaux, vol. 2, pp. 159-160). Le 18 août 1688, les académiciens souhaitant faire imprimer leurs ouvrages devront obtenir au préalable l'assentiment de la Compagnie en corps ou de commissaires désignés par elle (Procès-verbaux, vol. 7, fol. 98 v°-99 r°). Cette procédure sera confortée par le Règlement ordonné par Louis XIV, le 26 janvier 1699, et dont voici un extrait de l'article XXX « L'Académie examinera les ouvrages que les académiciens se proposeront de faire imprimer ; elle n'y donnera son approbation qu'après une lecture entière faite dans les assemblées, ou du moins qu'après un examen et rapport fait par ceux que la Compagnie aura commis à cet examen ; et nul des académiciens ne pourra mettre aux ouvrages qu'il fera imprimer le titre d'académicien, s'ils n'ont été ainsi approuvés par l'Académie. » (Fontenelle, 1702, 1994, p. 61).

L'article XL du Règlement de 1699 apporte un changement dans la politique de l'Académie en stipulant qu'à la fin de décembre de chaque année elle doit faire connaître au public ses travaux, ce qui a fait créer la série annuelle des volumes *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des sciences* « et à la fin de décembre de chaque année, il donnera au public un extrait de ses registres, ou une histoire raisonnée de ce qui se sera fait de plus remarquable dans l'Académie » (Fontenelle, 1702, 1994, p. 63). Du Hamel -de 1666 à 1697- puis Fontenelle -de 1697 à 1740- assumeront ce rôle de secrétaire et d'historien pour le XVII^e siècle puis le début du XVIII^e siècle.

politique de l'Académie en 1699 qui devait informer le public par les Histoires et Mémoires de l'Académie royale de Paris, des prix missionnés dès 1720 offrant les grandes questions scientifiques à la communauté, puis enfin les comptes-rendus à partir de 1835, ont favorisé les passions intellectuelles scientifiques. Des débats et des controverses ont soutenu ce labyrinthe des cheminements de pensée comprenant certaines impasses que nous avons retracées rapidement. Cette pratique langagière d'échanges scientifiques serait donc fondamentale pour la construction de la connaissance paléontologique. Ces instants de débats sont susceptibles de nous aider à démêler cette complexité historique dépendante d'une nature proluxe, si nous savons tirer profit d'une étude clinique de certaines controverses.

1. 3 Vers une histoire des débats, la controverse repérée Buffon-Voltaire

Avec l'ouvrage dense d'Ellenberger (1988, 1994), nous retiendrons la caractéristique d'une **longue histoire complexe de la science paléontologique** dont les héros et leurs découvertes, ou les idées voire les errements et les problèmes, conduisent finalement à une connaissance plus exacte selon une trajectoire sinueuse. Comment est-on passé de ces systèmes concurrents préscientifiques -fermés, mobilisant des faits éclectiques pour confirmer son idée- à une théorie scientifique -ouverte, unificatrice des faits collectés expliqués et des faits nouveaux déduits à vérifier- ? La révolution géologique conférant peu à peu au temps son immensité est acquise par le discernement de concepts nouveaux - des fossiles anciens vivants, des longues durées, un renouvellement des faunes fossiles dans une colonne stratigraphique, une succession chronologique des faunes, des orogénèses-. Elle est profondément enracinée dans le passé, « Et notamment, nulle coupure épistémologique nette ne se remarque dans notre inventaire, qui eût reflété les mutations de la discipline elle-même. » (Ellenberger, 1994, p. 9). Ce sont peut-être les temps de débats, théâtre des opinions et controverses entre pairs, qui pourront nous éclairer au mieux sur ce passage pas forcément brusque.

Ainsi par complémentarité aux travaux d'Ellenberger, l'ouvrage de G.Gohau (1990b) nous offre une analyse épistémologique clarifiée de la naissance des géosciences appuyée par une documentation enrichie de textes originaux. Pour notre étude, prenons comme référence le **débat entre Buffon et Voltaire** au XVIII^e siècle qui est mis en valeur par **des extraits originaux** (ibid, pp.158-160). L'intérêt épistémologique de cet échange est multiple pour le didacticien. Nous constatons d'emblée dans un débat le poids de l'autorité déjoué par la stratégie de Voltaire qui a préféré rester anonyme pour publier en 1746 sa « Lettre italienne ». Ce qui lui a valu une réponse ironique plus qu'argumentée en 1749 par Buffon alors qu'une seconde réponse respectueuse et soutenue lui fut renvoyée en 1778. Ensuite cet échange

illustre la fermeture d'un problème, l'origine des fossiles, pour la communauté savante représentée par Buffon qui garantit leur origine marine

« La forme & la quantité de toutes ces pierres figurées (corne d'Ammon, pétoncles, bélemnites, champignons de mer...), nous prouvent presque invinciblement qu'elles étaient autrefois des animaux qui vivoient dans la mer. La coquille sur-tout dont elles sont couvertes, semble ne laisser aucun doute, parce que dans certaines, elle se trouve aussi luisante, aussi fraîche & aussi naturelle que dans les vivans » (Buffon, 1778/1839, Tome 1, article VIII-additions aux théories de la Terre, p.149)

Ce problème de l'origine et de la nature des fossiles mêlé à celui de leur présence dans les montagnes loins des mers reste ouvert pour le grand public, représenté par Voltaire, qui le met en doute d'une façon fantaisiste ou heuristique -des singes, des pèlerins, des germes, des lacs desséchés. Les évidences du savant Buffon restent bien éloignées du mode de pensée naïve joué par le « candide » Voltaire.

Mais Marguerite Carozzi (1979) est revenue aux sources de cette hypothèse voltairienne²⁷ tant décriée sur les pèlerins transportant et abandonnant des coquilles à l'origine de la présence de fossiles marins loin des mers. En révélant six variantes à cette hypothèse, elle explique bien les détours et l'évolution de la pensée de Voltaire qui n'est pas aussi innocent. Dans ses premiers écrits (Voltaire, 1746), il distingue deux genres de pétrifications, les poissons trouvés dans les montagnes- un turbot dans les montagnes de Hesse en Allemagne, un brochet sur le mont Cenis des Alpes françaises- et les coquilles trouvées près des habitations humaines, nombreuses en France, en Italie et en Allemagne, vers Paris, Milan ou Francfort. Il conjecture que les poissons fossiles auraient été portés pour un repas, gâtés, puis jetés par quelque pèlerin et pétrifiés ensuite. Quant aux coquilles il avance quatre premières hypothèses : elles auraient été soit transportées aussi par les pèlerins venant de la Terre Sainte de Syrie, soit déposées en Europe lors d'une transgression de la mer de Syrie ou dans un ancien golfe, soit « ces coquilles, qu'on croit venues de si loin, sont des fossiles que produit notre terre » (Voltaire, 1748, cité par Carozzi, 1979, p. 88), soit enfin elles vivaient dans des lacs intérieurs aux montagnes ; les deux premières hypothèses nécessitent une origine lointaine, les deux suivantes sont possibles in situ. Ce qui plaît mieux à Voltaire qui refuse de concevoir un bouleversement majeur à la surface de notre globe « mais quelque système ou quelques rêveries que nous puissions adopter, il ne paroît pas possible de prouver par ces coquilles un renversement total du monde » (Voltaire, 1746, cité par Carozzi, 1979, p. 84). Il éprouve aussi une résistance à accepter une conséquence principale de ce nouveau système, la nécessité d'un temps long, sur lequel pourtant il tente différentes estimations oscillant entre deux millions d'années à 25920 ans qui s'affranchissent des six mille ans bibliques (Gohau, 1990b, pp. 152-153). Lyell lui-même accusait Voltaire de manquer de sincérité et de renforcer les préjugés sur les coquilles fossiles en désirant discréditer surtout les Saintes-Ecritures

²⁷ Marguerite Carozzi s'appuie sur *Les Œuvres complètes de Voltaire* (1877-1885) Paris : Louis Moland. 52 volumes

« Sachant qu'on regardait encore généralement l'immense quantité de coquilles fossiles renfermées dans l'intérieur des continents comme une preuve du déluge universel, il résolut d'ébranler cet article de foi et chercha, dans la vue d'arriver à ce but le plus vite possible, à répandre des idées de scepticisme sur la nature réelle de ces coquilles et à réhabiliter l'opinion qui les faisait considérer au seizième siècle comme des jeux de la Nature » (Lyell, 1843, vol.1, p.155)

Croyait-il réellement au système de germes des coquilles ? Il s'efforce plus à une pensée divergente laissant libre cours à son imagination car il juge les arguments scientifiques insuffisants. L'hypothèse lacustre reste sa préférée, la plus crédible selon lui, nous dit M. Carozzi (1979, p. 92). Son cheminement intellectuel le mène finalement à une évolution régressive éludant la question scientifique malgré les nouvelles connaissances en géologie. Ce débat, que nous approfondirons, est une fenêtre ouverte sur l'enchevêtrement des problèmes géologiques et des obstacles épistémologiques qui se sont succédé.

1. 4 Vers une histoire des grandes questions paléontologiques déclinées en problèmes et obstacles

L'histoire mais surtout le fonctionnement de la science paléontologique peut être étudiée selon les deux cadres théoriques didactiques complémentaires auxquels nous nous référons, celui de la problématisation et celui de l'obstacle. Une des caractéristiques du savoir scientifique c'est la « maîtrise de **véritables problèmes scientifiques** » (Orange, 1997, p.9) envisagés selon différents angles par les philosophes de la science tels Bachelard, Popper, Kuhn et Laudan. Rationnellement le problème est au centre de la construction de la connaissance scientifique. L'histoire des sciences peut nous offrir une grille de référence relatant les problèmes vécus par la communauté scientifique, et dans ce sens fondamentaux pour l'acquisition des savoirs actuels. En synergie elle offre des **obstacles épistémologiques**, « causes d'inertie » ou « erreurs rectifiées » (Bachelard, 1938/2004, p.13 et p. 285) qui révèlent un clivage entre la connaissance commune sensible et la connaissance scientifique rationnelle. Une multitude d'idées divergentes s'affrontèrent depuis les penseurs antiques et médiévaux, jusqu'aux naturalistes du XIX^e siècle, en passant par les siècles majeurs préparant la révolution paléontologique, ceux de la Renaissance et des Lumières. Les différents niveaux conceptuels et non les paliers chronologiques de la connaissance paléontologique sont marqués par des nouveaux systèmes de pensée dont nous avons fait la synthèse dans le tableau ci-dessous. Nous les avons repérés préférentiellement dans les ouvrages d'Ellenberger (1988 et 1994), de Gohau (1990a), de Buffetaut (1998) et de Bouillet et Gaudant (2000). Nous avons retenu les problématiques et les obstacles essentiels qui s'entrecroisèrent et qui peuvent être illustrés par différents noms génériques ou spécifiques affiliés aux coquilles fossiles.

Tableau N°1 : **Mise en parallèle des nombreuses interprétations des fossiles, des problèmes scientifiques soulevés et des obstacles repérés ayant conduit des objets terrestres à la paléontologie stratigraphique**

Des systèmes et des théories à propos des fossiles (quelques auteurs et époques)	Les problèmes identifiables	Les obstacles possibles
<i>mythes et légendes</i> IV ^e , spirifer = « hirondelles de pierre », XVII ^e (Robert Plot, GB) rostre de bélemnites = « pierres de foudre », XX ^e (Danemark) oursins fossiles = « pierres de Saint Pierre » : jeux de hasard	L'origine des fossiles	Croyances, superstitions
<i>Inorganique, minéral</i> Fossile endogène à la terre, in situ dans les roches « lapides sui generis », comme les autres minéraux : pierres figurées (XVII ^e -XVIII ^e , Lister ; XVIII ^e , Élie Bertrand)	La nature des fossiles	Création par Dieu ou par la Nature (puissance créatrice)
<i>Inorganique, minéral par des forces</i> Fossile endogène à la terre par des forces plastiques = la « vertu plastique ou vertu lapidifiante », Vertu minéralisante abstraite ou forces créatrices mystérieuses extraordinaire selon un principe salin (XVII ^e , Kircher, Robert Plot) - OU Fossile endogène à la terre par des forces célestes astrales (XIV ^e , Pietro d'Abano)	Les causes de formation expliquant l'origine et la nature des fossiles	Pensée alchimiste et magique prêtait aux sels des vertus plastiques qui leur donnait la propriété de cristalliser et de présenter une structure organisée
<i>Inorganique, astral</i> Fossile exogène à la Terre (XVI ^e , Mercati)	Origine et cause	
<i>Origine minérale spontanée</i> par « fermentations » ²⁸ et « exhalaisons » (XVI ^e , Fallope)	Origine et formation	
<i>Origine minérale par des semences d'êtres vivants</i> vie élémentaire des pierres permettant croissance et reproduction en analogie avec les végétaux (1702, Tournefort) OU semences transportées par des « vapeurs humides » marines dans des conduits souterrains, « vis plastica » et « spiritus lapidificus » (1597, Libavius ; 1698 Lhwyd ; 1709, Lang),	Origine et formation	Analogie rapprochée au monde végétal
<i>Nature organique zoologique</i> Ammonites = « pierres de serpents » (Antiquité, Hérodote) pluralité des hypothèses catastrophistes : déluge, inondation, séismes (XVII ^e -XVIII ^e , Ray)	La nature organique des fossiles	Analogie de première approche
<i>Organique zoologique aquatique</i> Fossile exogène à la terre, Issu des vivants passés, restes -origine marine (XV ^e -XVI ^e , Léonard de Vinci) -origine dulçaquicole + substance imprégnant les matières organiques (XVI ^e , Palissy)	La nature organique et l'origine aquatique des fossiles	

²⁸ Les termes de fermentation et d'exhalaison étaient utilisés dans l'idée de production par émanation sous forme de vapeur

<i>Organique zoologique marine et diluvienn</i> XIII ^e , Ristoro d'Arezzo, 1693, Leibnitz ; Woodward, 1695	Les fossiles d'animaux marins loin des mers en altitude ; l'abaissement des mers ; le déplacement des mers et la formation des montagnes	Catastrophisme événementiel biblique « neptunisme »
« <i>théories de la Terre</i> » théorie du refroidissement graduel de la Terre (1778, Buffon)	Les fossiles européens, analogues d'espèces actuelles exotiques tropicales ou polaires	
<i>Organique zoologique et perpétuation des espèces, idée de « fossile vivant »</i> tel les ammonites cachées encore au fond des mers ou dans des pays encore inexplorés (XVII ^e -XVIII ^e , Ray ; 1695, Woodward) ; pas d'extinction totale sans descendance si ce n'est par l'homme (XVIII ^e -XIX ^e , Lamarck)	Les fossiles, espèces non « disparues »	Fixisme exprimé par la pérennité et l'immutabilité des espèces
<i>naissance de la paléontologie historique</i> XVII ^e , Hooke ; XVIII ^e Buffon ; XIX ^e Blumenbach, généralisation des extinctions par changement global climatique, Cuvier	les extinctions des espèces ou « mondes perdus »	Catastrophisme cyclique (révolutions)
<i>Chronologie lithostratigraphique</i> XVIII ^e , Lavoisier, J.-A. Deluc	L'ordre de superposition /du dépôt des couches ; les variations des faunes dans les strates superposées	Double archivage (séparation entre la nature lithologique et la paléontologie)
<i>Chronologie paléontologique</i> -du simple au composé, 3 âges (XVIII ^e , Soulavie) -la présence plus ou moins importante des formes actuelles (XIX ^e , Lyell)	la succession des formes de vie dans le temps géologique	-Division des temps géologiques mais sur une courte durée -Fixisme par des couches contemporaines : difficulté du passage de l'espace géographique à la dimension temporelle
<i>Naissance de la paléontologie évolutive</i> XIX ^e -D'Orbigny ; révolutions de Cuvier ; Brongniart ; 27 niveaux de strates avec faunes caractéristiques de Smith -progrès, changements évolutifs sous l'action du milieu -uniformitarisme (Lyell, Prévost)	-Apparition des espèces et succession chronologique -succession identique, corrélations faunistiques d'un continent à l'autre, migrations par des isthmes -la datation relative ; des êtres les plus imparfaits au plus parfaits ; La direction de l'histoire des vivant -disparitions-transmutations ou disparitions-crétations -Mécanismes des changements de faune et de flore	Créationnisme-catastrophisme Anthropocentrisme (forme imparfaite et l'Homme parfait) -Fixisme par un éternel recommencement

Les **différentes terminologies** données aux coquilles fossiles ou pétrifiées (surlignés dans la première colonne du tableau) traduisent des ruptures conceptuelles. Les jeux de hasard affiliés aux mythes et légendes ne questionnent pas ces objets de la nature et rapprochent les fossiles de tout autre élément naturel par métaphore ou analogie. Les rostrs de bélemnites sont

appelés « pierres de foudre » au XVII^e, les coquilles d'ammonites ou de spirifer sont nommées respectivement « cornes d'Ammon » au XVIII^e ou « hirondelles de pierre » au IV^e et les tests d'oursins sont considérés comme des « pierres de Saint-Pierre » encore au XX^e siècle. Les pierres figurées, termes fréquents aux XVII^e et début du XVIII^e siècle confortent une origine minérale d'objet affilié à la terre formé in situ dans les roches « lapides sui generis », comme les autres minéraux. Leur genèse est conçue dans un monde minéral en harmonie avec les autres règnes végétaux et animaux selon une pensée créationniste ou alchimiste. Enfin sortis de terre, les fossiles au sens moderne deviennent des fossiles étrangers ou exogènes à la terre qui les renferment et parfois uniquement ceux qui sont analogues aux coquilles vivantes actuelles. Les autres fossiles n'ayant pas d'équivalent aujourd'hui deviendront tardivement au XIX^e siècle des « espèces disparues » ou des « espèces intermédiaires » par opposition aux « fossiles vivants ».

Le progrès de la pensée scientifique est mis en évidence par les rebondissements déclinés aussi en parallèle en **problèmes majeurs** repérés déjà dans les ouvrages paléontologiques précités (deuxième colonne du tableau). Ce sont successivement la nature et l'origine des fossiles jusqu'au XVII^e siècle, l'extinction des espèces et la présence de fossiles tropicaux en Europe au XVIII^e siècle, puis cette même extinction des espèces archivées dans les strates et leur filiation au XIX^e siècle. Dans ce cadre d'idées coordonnées, il est intéressant de repérer comment s'enchaînèrent voire se bousculèrent les problématiques dès que le problème de la nature organique, le plus longtemps discuté, fut résolu et accepté. Mais « l'histoire des sciences est à cet égard souvent trompeuse. Elle ne restitue presque jamais les obscurités de pensée. Elle ne peut donc bien saisir la rationalité en train de se faire » (Bachelard, 1949/2004, p. 9).

Alors cette hiérarchie de pensées en construction doit être complétée et rapprochée de la prise en compte aussi des obstacles dépassés (troisième colonne du tableau). Dans ce chemin culturel qui nous permet de suivre le devenir des idées liées aux objets fossiles, trois **obstacles majeurs** sont mis en avant d'une façon consensuelle par les paléontologues et les philosophes des sciences : d'une part la pensée créationniste contre laquelle « le progrès scientifique marque ses plus nettes étapes en abandonnant les facteurs philosophiques d'unification facile tel que l'unité d'action du Créateur, l'unité de plan de la Nature, l'unité logique » (Bachelard, 1938/2004, p. 18), et d'autre part « la conception anthropocentrique traditionnelle de l'univers » (Buffetaut, 1998, p. 104). Cette dernière est affiliée à une conception fixiste anhistorique qui sera dépassée quand l'homme acceptera l'image de mondes disparus naturels très anciens dont il était absent. Bachelard parle d'« erreur positive, normale, utile » (1938/2004, p. 290) puis d'« erreurs raisonnables » (1949/2004, p. 29). La contiguïté de cette terminologie nous interpelle comme un oxymore a priori. Mais la volonté est de mettre en avant une relation forte entre intelligence et errements : la raison a permis le dépassement des erreurs passées de la connaissance scientifique mais c'est en s'appuyant sur ces erreurs afin de

les corriger car « Seules les erreurs raisonnables préparent les cultures dûment rectifiées » (ibid.). Or l'anthropocentrisme et le fixisme, n'ont-ils pas perduré cependant jusqu'à nos jours, masqués sous d'autres formes plus subtiles ? Ainsi la belle démonstration de S.J. Gould (1991) qui réinterprète la faune cambrienne des schistes de Burgess et nous alerte sur ces conceptions fixistes et anthropocentrées de l'histoire des vivants sur Terre. D'une part cette révision d'archives paléontologiques exceptionnelles - la plus ancienne faune d'animaux à corps mous admirablement fossilisés jusqu'aux plus fins détails anatomiques- offre une nouvelle représentation d'une explosion extraordinaire de vie. Sa diversité révélée appartient à des groupes zoologiques inconnus aujourd'hui et s'affranchit de la première interprétation de Charles Walcott en 1909 qui se conformait à retrouver les groupes zoologiques modernes. Et d'autre part, Gould préfère une histoire antithétique liée à la contingence, proposant d'autres scénarios possibles sans l'émergence de l'espèce humaine. Or combien il est difficile pour l'esprit humain d'accepter d'être non seulement le fruit du hasard mais en plus d'être en voie d'extinction.

La fissuration des obstacles liés la nature organique des fossiles, résistants depuis l'antiquité parfois, va libérer la pensée de la communauté scientifique du XVIII^e siècle. D'autres problèmes peuvent être enfin posés et se succéder alors, tels les paléogéographies et les paléoclimatologies différentes de l'actuel, l'extinction des espèces, les faunes et flores caractéristiques successives, un temps immense archivé dans les couches géologiques pour notre planète. Leurs résolutions ont toutes conduit au résultat de l'histoire des êtres vivants sur Terre sur un temps géologique considérable. Minéralogie, paléontologie, paléontologie stratigraphique et paléontologie évolutive se sont relayées. Or une histoire présentée ainsi raccourcie selon laquelle « une préparation du nouveau par l'ancien, majore les preuves de continuité » (Bachelard, 1949/2004, p. 105) ne peut être **qu'un artefact de reconstruction historique**. Par complémentarité, une hiérarchisation des problèmes selon la pensée philosophique de Kuhn (1983) met en avant les preuves de discontinuité, de l'énigme à l'anomalie puis à la révolution. Aux problèmes fondamentaux ou de rupture qui déclenche un changement de paradigme et sont à l'origine d'une nouvelle théorie, s'opposent des problèmes normaux développant un paradigme non remis en cause. La grande histoire retrace et retient essentiellement les problèmes de ruptures rappelés dans le tableau ci-dessus au détriment des problèmes normaux -tels l'identification d'un fossile confrontée à la classification animale actuelle et passée ou la reconstitution paléogéographique inhérente à la thaphocénose- qui se sont construits en relation d'alternance ou de synergie.

1. 5 Des réflexions épistémologiques en paléontologie aux questions didactiques

Si deux types de problèmes structurent l'histoire des idées scientifiques oscillant entre des périodes ordinaires de paradigme et des épisodes extraordinaires de révolution, alors des **problèmes normaux ou des problèmes de ruptures** peuvent fonctionner aussi dans l'enseignement des sciences (Orange, 1993a ; Orange, 1997, p.15). Les conséquences didactiques envisagées sont une maîtrise par l'enseignant du processus de problématisation à deux niveaux. D'une part la construction scolaire des problèmes est sous la dépendance des conceptions des élèves. Elles pourront être analysées en vue de hiérarchiser les problèmes normaux opérationnels dans la classe et les problèmes de rupture favorables éventuellement à un dépassement d'obstacle. D'autre part la construction des problèmes par les élèves devra être facilitée par l'enseignant grâce à des indicateurs et des supports didactiques adaptés. Or la transposition épistémologique des problèmes à la didactique de la problématisation peut avoir ses limites car « c'est dans cette capacité à résoudre des problèmes normaux que réside la vraie valeur des connaissances acquises. Jamais on ne pourra réellement demander aux élèves de développer par eux-mêmes des problèmes de rupture » (C. et D. Orange, 1993, p. 67)

De plus la difficulté pour le chercheur réside aussi dans la complexité d'une dynamique des interactions langagières des élèves et de l'enseignant mobilisés dans l'élaboration d'une problématique. Ce qui nous intéresse amène à la compréhension fine de **l'espace-problème** (Fabre & Orange, 1997) soutenu par un raisonnement de questions, de réponses et d'objections, développant une architecture de problèmes construits ou problématique. Parmi celles déclinées précédemment en paléontologie, chaque nouvelle problématique est engendrée par une nouvelle contrainte admise dans le raisonnement scientifique. Par exemple la nature acceptée organique et marine des fossiles génère le problème de leur présence ou transport au sein des reliefs montagneux. Ou encore la superposition acquise de formations lithographiques génère les problèmes de plusieurs périodes de longue durée et de la succession des faunes fossiles dans l'histoire de la Terre et de la vie. Aussi « Construire un problème pour les élèves correspondrait alors à construire un espace-problème où s'articulent les nécessités, théoriques et empiriques, et les possibles » (Orange, 1997, p. 20). L'exploration du champ des possibles est primordiale et elle aboutit à cerner une caractéristique essentielle des savoirs scientifiques, leur **nécessité ou « apodicticité »** (Orange, 2005a). Par conséquent dans le processus dynamique de la problématisation la cartographie des savoirs construits s'appuie sur l'épistémologie suivante : « Faire des sciences, c'est abandonner une connaissance d'opinion, une connaissance mal questionnée, assertorique, c'est-à-dire réduit à un simple constat pour une connaissance qui une fois problématisée, sera fondée en raison, deviendra apodictique. » (Fabre & Orange, 1997, p. 40). Et quand « les savoirs scientifiques échappent à la contingence des connaissances factuelles,

assertoriques, et prennent un caractère apodictique » (Orange, 2005a, p. 78), ces raisons apodictiques contraignent le champ des solutions. D'un point de vue -théorique ce caractère de nécessité s'impose à la connaissance scientifique et devient généralisable « Autrement dit, savoir en sciences ne se réduit pas à *savoir que* mais bien à *savoir pourquoi cela ne peut pas être autrement*. » (Orange, 2005b, p. 3 citant Reboul²⁹). De même du point de vue empirique expérimental la connaissance scientifique ne « semble échapper à sa destinée d'être un argument toujours réfutable que dans la pratique scientifique où, du strict protocole qui la règle, elle acquiert la fonction d'un principe méthodologique et la valeur apodictique d'une preuve » (Lecourt, 1974, p. 851). Cet accès à ces raisons nécessaires -empiriques et théoriques- est fondamental. Il s'est construit souvent par des problèmes récurrents mais posés différemment, des investigations multipliées et tâtonnantes. Il est finalement bien souvent dilué et tombé dans l'oubli aujourd'hui dans l'appropriation des connaissances actuelles car « la réorganisation de la connaissance abolit son historicité » (Canguilhem, 1968/2002, p. 205). Cette spécificité du savoir identifiée et valorisée à travers diverses études de cas en biologie ou en géologie nous ouvre des perspectives intéressantes en paléontologie. Un bel exemple démonstratif essentiel dans ce domaine, celui de la compréhension tardive du renouvellement des faunes fossiles en corrélation avec leur positionnement le long d'une colonne stratigraphique représentative du temps, nous donne un aperçu d'un savoir scientifique apodictique. Autrement dit « L'inacceptable a été accepté quand la multiplication des constatations a contraint la collectivité à l'accepter : d'abord en hésitant, en tâtonnant, puis en basculant en bloc. De plus, des mutations étaient intervenues dans d'autres secteurs du champ de la pensée (Ellenberger, 1994, p. 9). La paléontologie naissante raisonne dans un champ de contraintes empiriques qu'elle assemble comme des régularités de la nature –pierres pétrifiées et fossiles- et non pas comme des objets aléatoires -pierres figurées et jeux de la nature-. La notion d'espèces disparues fut longtemps considérée comme impensable dans le cadre général de pensée de création divine et de perfection originelle. Confronté en premier lieu au problème de la présence d'espèces tropicales découvertes actuellement fossilisées en milieu tempéré, il maintenait l'espoir de les retrouver un jour dans les lieux encore inexplorés comme Buffon et Guettard l'assuraient au XVIII^e siècle. Confronté en second lieu au double archivage stratigraphique et paléontologique (Gohau, 1990b, p. 302-305), ce cadre fixiste dut se détacher d'une datation courte, biblique pour concevoir une datation relative longue basée uniquement sur la seule variable acceptable, les archives paléontologiques. Ainsi pouvons-nous résumer l'enchaînement de causalité si l'on devait admettre que les fossiles étaient des anciens êtres vivants et que certains n'avaient pas d'analogues vivants actuels, alors certaines espèces avaient disparues. Et si les espèces fossiles et actuelles sont différentes sur Terre c'est qu'elles ont été renouvelées ou qu'elles se sont transformées. Le changement évolutif a été

²⁹ Reboul, O. (1992). *Les valeurs de l'éducation*. Paris : PUF.

discuté sur les modèles possibles -série linéaire ou embranchement- et les causes éventuelles –progrès interne guidé par Dieu ou hasard d’une sélection naturelle-. Actuellement les mécanismes continus ou discontinus de l’évolution sont discutés selon une conception inspirée de Gould (1997a) qui allie un néocatastrophisme géologique et un ponctuationnisme biologique.

Plus qu’un archivage de discontinuités épistémologiques à travers une série de problèmes et d’obstacles, c’est la **construction d’un problème et ses interactions potentielles avec un obstacle** qui nous intéressera, autrement dit leur problématisation. En histoire des sciences l’étude de débats archivés où l’argumentation est développée, peut nous permettre de comprendre comment certains de ces problèmes ont été posés et résolus en leur redonnant vie dans leur contexte épistémique. De plus, à travers l’étude précise de controverses pourrions-nous déceler les relations entre problématizations et obstacles puisque différents points de vue coexistent. Soit la problématisation est dissociée de l’obstacle « il est difficile d’admettre que tout problème renvoie à un obstacle ou que tout ce qui n’est pas obstacle ou rupture ne pose aucune difficulté. » (Orange, 1997, p. 14). C’est le cas de problèmes normaux à développer le plus fréquemment dans les situations d’enseignement et les plus accessibles à la maîtrise d’un problème pour l’élève. Et au niveau de la classe un choix didactique peut être opéré par l’enseignant, « faire évoluer les représentations ou construire des raisons » (Orange, 1999). Le changement épistémologique surpasse alors le changement conceptuel. Soit la problématisation peut être envisagée comme antagoniste à l’obstacle « L’obstacle, c’est ce qui s’oppose à la problématisation » (Peterfalvi, 2006, p. 105), les premières définitions a priori étant pour l’un une pensée en mouvement et pour l’autre une inertie de pensée. Au-delà de ce paradoxe apparent une complémentarité didactique est recherchée de telle sorte qu’une dialectique commune entre un pôle déconstructif et un pôle constructif puisse être décelée « la transformation de l’obstacle facilité en obstacle difficulté, duquel un problème soit susceptible d’émerger » (ibid., p. 100). Même si des dispositifs d’enseignement tels des débats problématizants peuvent porter des obstacles à la raison, « il est illusoire d’espérer le franchissement définitif d’un obstacle, car le propre de l’obstacle, c’est qu’on risque constamment d’y retomber, dès lors que l’attention se relâche ou que le problème est plus élaboré. » (ibid., pp. 104-105). Ainsi la pensée scientifique authentique va à l’encontre de « tout esprit qui aime mieux le but que le chemin » et de « tout philosophe qui ne veut prendre de la science que les résultats sans suivre la vie du progrès des pensées » (Bachelard, 1949/2004, p. 118).

Voici en résumé un tableau comparatif des deux écoles en didactiques des sciences que nous allons exploiter d’une façon complémentaire dans notre recherche sur l’enseignement et l’histoire de la paléontologie.

**Tableau N°2 : Approches didactiques complémentaires,
problématisation et travail sur les obstacles**

Situation d'enseignement centrée sur ...	la PROBLEMATISATION et...les RAISONS	l'OBSTACLE et... les IDEES
dénomination	Situation- débat	Conflit socio-cognitif
Objectifs d'apprentissage	construction de raisons, controverses argumentées	repérage, fissuration, franchissement d'obstacles
Objectifs d'enseignement	Identification de possibles, de contraintes, de nécessités	Saut conceptuel visé
Fonction des modèles explicatifs	Mise en tension avec un registre empirique	Confrontation par l'hétérogénéité
Evaluation	Distanciation du vrai et du faux, analyse des arguments co-construits	évaluation individuelle du franchissement de l'obstacle

Conclusion Chapitre 1 : des dialectiques envisagées pour la construction de la connaissance paléontologique

La didactique qui s'appuie sur une épistémologie de la problématisation prend comme référence de mise en situation d'enseignement, l'activité de recherche scientifique. En ce sens l'histoire des sciences peut nous éclairer sur les modalités des progrès de la connaissance et nous alerter sur les obstacles et les ruptures épistémologiques rencontrés par la communauté scientifique.

Nous retiendrons alors comme conséquence pour l'enseignement des sciences, l'importance de construire une dialectique entre les objets et les idées (construction méthodologique de la science), une dialectique au sein d'une communauté scientifique (construction sociale de la science), une dialectique entre des possibles et des nécessités dans un jeu d'ouverture et de fermeture mettant à l'épreuve des solutions plausibles (construction épistémologique de la science), et enfin une dialectique possible entre des problèmes et des obstacles (construction conceptuelle de la connaissance scientifique).

Après ces repères théoriques montrant la richesse potentielle d'une construction intellectuelle scientifique et paléontologique, complétons en passant en revue les différentes recherches en didactique qui ont travaillé autour des situations d'enseignement à propos du concept de fossile.

CHAPITRE 2 : REVUE DE SYNTHÈSE DES RECHERCHES EN DIDACTIQUE LIÉES A L'ENSEIGNEMENT ET AUX APPRENTISSAGES DE LA PALÉONTOLOGIE

Vouloir **enseigner la paléontologie** c'est s'affronter à une « **science qui étudie les êtres disparus**, essentiellement connus par leurs restes fossiles ou les traces de leur activité » (Foucault & Raoult, 2005, p. 255). Ce qui signifie que le préfixe « paléo » est traduit ici par « disparus » et non par « ancien » en référence à l'étymologie grec. Ajoutons que ni un temps défini³⁰, ni une matière minérale obligée, ni un seul phénomène ne construit une définition univoque de fossile. Par contre leur conservation dans les roches généralement sédimentaires, leur origine naturelle et essentiellement l'archivage d'espèces disparues font consensus pour lever certaines ambiguïtés. Le rapport des fossiles à la roche encaissante est fondamental pour circonscrire ce domaine d'étude. Aussi complétons par une des premières définitions de la paléontologie donnée au milieu du XIXe siècle : « l'étude des êtres organisés anciens (littéralement Discours sur les êtres anciens) nous fait connaître la distribution des restes de végétaux et d'animaux dans leurs rapports avec l'âge des roches qui les renferment, et non considérés en eux-mêmes, car ils rentreraient alors dans le domaine particulier du zoologiste ou du botaniste. » (Archiac, 1866, p. X). Ainsi les peintures rupestres de la grotte de Niaux, les moulages de la population de Pompéi, ou encore les travertins de nos sources actuelles ne peuvent être considérés comme fossiles. Alors que les insectes piégés dans l'ambre de l'ère tertiaire, les mammoths congelés du quaternaire peuvent l'être. Quant au Dodo de l'île Maurice, il ne put être considéré comme fossile qu'à partir de 1865 où l'on découvrit des fragments de têtes et de pattes sans pour autant attendre la manne fossilifère comprenant même un squelette entier en 2005 (Lalis & Pédersen, 2007). La première description de 1598 ou l'huile sur toile du XIXe siècle ne suffisaient pas à le reconnaître comme tel. Nul doute que pour les élèves et aussi les enseignants-stagiaires, pour tous ces cas singuliers la confusion demeure entre des archives historiques, archéologiques et paléontologiques. Le choix de nos objets d'enseignement est restreint premièrement aux **problématiques paléontologiques générales** qui peuvent être abordées à différents niveaux scolaires : de l'objet à l'idée d'ancien vivant fossile ; le processus de la fossilisation ; les biodiversités du passé et les extinctions des espèces ; l'histoire des espèces inscrite dans un temps sagittal long

³⁰ Dans la définition commune apportée par le dictionnaire *Le petit Robert* (1984) la paléontologie est « la science des êtres vivants ayant existé sur la Terre avant la période historique, et qui est fondée sur l'étude des fossiles ». Il est surprenant de voir qu'une limite temporelle en rapport avec l'avènement de l'écriture est donnée dans ce cas.

; les paléoenvironnements. Parmi l'ensemble de ces questions scientifiques, le savoir non résolu le plus débattu encore actuellement est le problème des causes des extinctions en masse des vivants appelées aussi « crise biologique ». Sur le plan épistémologique c'est l'acceptation d'espèces disparues ou éteintes qui a permis de travailler sur des inventaires fossilifères de faune et de flore et en conséquence d'identifier cinq grandes extinctions à la fin de périodes structurant l'échelle des temps (Ordovicien, Dévonien, Permien, Trias, Crétacé). Les différents scénarios qui ont généré des débats sont tous au départ uni causaux et vont du plus apocalyptique au moins catastrophique : la météorite de l'énorme cratère de la péninsule mexicaine du Yucatan, les éruptions volcaniques des gigantesques plateaux basaltiques du Deccan en Inde, le refroidissement des océans, la compétition entre espèces. Le scénario le plus probable aujourd'hui additionne tous ces événements en essayant d'établir une succession plausible par différentes datations (Taquet, 2004). Dans ce sens un autre type d'objets à enseigner est indispensable et il nous faut aussi envisager le lien entre ces savoirs résolus en totalité ou partiellement et **les principes géologiques** qui les ont structurés. Ces principes ou postulats posés sont les suivants : les principes d'anatomie comparée³¹, les principes de superposition et d'identité paléontologique des strates, le principe de l'actualisme. Ils constituent aussi les fondements de la paléontologie mais d'un niveau conceptuel différent des savoirs construits/établis. Sans doute peuvent-ils être considérés comme des *nécessités de premier ordre* contraignant et libérant la raison dans leur élaboration. Ce panel d'objets d'enseignement, problématiques et principes conduisant aux savoirs, peuvent-ils émerger dans les classes du primaire et du secondaire ? L'intérêt serait de chercher à cerner comment les élèves peuvent mener une recherche heuristique de ces principes méthodologiques.

Comme nous l'avons signalé plus haut, les **limites de notre champ d'étude** font que nous n'intégrerons pas dans cette recherche la paléoanthropologie et sa paléo-ichnologie, objet aussi de nombreuses controverses scientifiques ou éthiques³². En lien avec l'actualité pérenne des questions scientifiques, « égocentriques/ existentielles » sur la problématique de

³¹ Georges Cuvier énonce clairement trois principes fondateurs du vivant dans ses *Leçons d'anatomie comparée* (1800) dès 1795 à l'ouverture de son cours au Muséum national d'histoire naturelle de Paris : le principe de « conditions d'existence » qui considère un être vivant comme un système d'organes dont le fonctionnement du tout est étroitement corrélé à ses parties ; le principe de « subordination des caractères » qui établit une hiérarchisation entre des caractères fonctionnels secondaires et primordiaux ; plus tard en 1812 en conséquence, le principe de « corrélation des formes » qui permet d'identifier et de reconstituer les fossiles par une comparaison ostéologique des espèces fossiles et contemporaines des vertébrés

³² Cf Picq, P. (2005). *Nouvelle histoire de l'homme*. Paris : Perrin.

Certaines controverses sont analysées pour mieux comprendre la quête intellectuelle de l'homme sur ses propres origines : celle du Valladolid au XVI^e siècle concernant l'esclavage des Indiens d'Amérique, le procès de Giulio Vanini au XVII^e siècle à propos de ses dialogues sur les « merveilleux secrets de la nature », le procès du singe en 1925 aboutissant à la condamnation dans l'état du Tennessee d'un professeur de sciences naturelles ayant enfreint la loi pour avoir enseigné l'évolution.

l'hominisation ou posée autrement «Quand peut-on parler d'homme³³ ?» (Picq, 2006). Son épistémologie est passionnante car toujours foisonnante, bousculée et renouvelée encore très récemment –cas de la découverte en 2001 de Toumai³⁴, crâne de primate fossile daté de sept millions d'années qui met à mal la théorie de l'« East Side Story » devenu un mythe proposé par Y. Coppens³⁵. Ce serait là l'objet d'une autre recherche en didactique. Nous n'étudierons pas non plus le passage des données paléontologiques à la théorie de l'évolution qui est là encore une autre voie de recherche explorée en épistémologie (Laurent³⁶) et en didactique des sciences avec les concepts de filiation et d'ancêtre qu'il sous-tend (Audigier & Fillon, 1991³⁷ ; Fortin³⁸, 1993 ; Quessada & Clément, 2005³⁹ ; Lhoste, 2007).

Certains **concepts didactiques** ont donné lieu à des **explorations dans le domaine général de la paléontologie**. Les premières recherches concernent essentiellement les représentations des apprenants pour amorcer des repères en formation des enseignants, puis les plus récentes se sont intéressées aux obstacles transversaux et aux rapports aux savoirs des élèves et des enseignants. Un second axe de recherche s'est orienté plus particulièrement à travers la problématique scientifique de l'origine de la vie vers la problématisation et l'historicité des savoirs scientifiques en regard de la construction de cette connaissance chez les élèves de lycée. Ces études didactiques s'accompagnent aussi d'une évolution d'une gestion de la classe en tant que communauté discursive. D'un point de vue didactique la dynamique des interactions langagières entre élèves lors d'un débat scientifique favoriserait les apprentissages. De même que le conflit socio-cognitif permettrait des progrès individuels du point de vue de la psychologie du développement.

³³ Cette restriction du sujet est effectuée a priori. Pourtant les élèves semblent y revenir systématiquement, surtout ceux de 4^{ème} qui n'avaient pas « manipulé » des fossiles au préalable de la séance étudiée et qui se sont orientés sur l'origine de la vie et l'hominisation ! L'hominisation au sens de Teilhard de Chardin signifie une prise de conscience de la place de l'homme dans la nature et non pas une évolution dirigée vers l'unicité de l'homme au regard de la biodiversité étonnante des singes (ibid., p. 63)

³⁴ Beauvilain, A. (2003). *Toumai, l'aventure humaine*. Paris : La Table Ronde.

³⁵ Coppens, Y. (2003). L'East Side Story n'existe plus. *La Recherche*, n°361, 74-78.

³⁶ Laurent, G. (2001). *La naissance du transformisme. Lamarck entre Linné et Darwin*. Paris : Vuibert. G. Laurent s'est intéressé à la genèse du concept d'évolution au XIX^e siècle et a redonné une place à Lamarck bien souvent oublié au détriment de Darwin. A travers l'exploitation des fossiles d'invertébrés par ce naturaliste fondateur de la paléontologie des invertébrés, il analyse les rapports entre ces données paléontologiques et la théorie de l'évolution.

³⁷ Audigier, F. & Fillon, P. (dir.). (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, une approche pluridisciplinaire*. Paris : INRP. Les auteurs ont abordé la construction historique et pédagogique des concepts d'espèce et de temps géologique nécessaires pour comprendre celui plus intégrateur d'évolution biologique, par ailleurs concept difficile qui soulève des problèmes scientifiques et philosophiques

³⁸ Fortin, C. (1993). *Etude épistémologique sur la construction des concepts évolutionnistes et les difficultés d'une transposition didactique*, Thèse dir. A. Giordan : Université Paris 7.

³⁹ Quessada, M.-P. & Clément, P. (2005). Introduction du concept d'évolution humaine buissonnante dans les manuels scolaires de sciences de la vie et de la Terre de terminale scientifique. *Actes des Quatrièmes Rencontres de l'ARDIST*, 293-300.

2. 1 Les conceptions initiales des élèves en paléontologie

Dans une perspective de recherche en didactique, l'intérêt de l'analyse des stratégies individuelles d'apprentissage des élèves est indéniable et en conséquence la prise en compte des conceptions des apprenants est devenue un passage obligé. Nous pouvons constater une évolution dans l'approche didactique des représentations, appelées aussi *misconceptions* dans la littérature anglo-saxonne. D'un catalogue des conceptions les plus fréquentes, la logique des erreurs récurrentes a été interrogée en identifiant des obstacles puis des nœuds d'obstacles à l'apprentissage - rupture entre le savoir erroné mobilisé par les apprenants et le savoir savant. Nous verrons les résultats obtenus des recherches didactiques sur l'apprentissage du concept de fossile dans l'enseignement primaire (Deunff & Lameyre, 1990 ; Gouanelle & Schneeberger, 1995), ou dans l'enseignement secondaire (Lacoste, 2001). Elles peuvent être complétées par des recherches dans le cadre muséologique (Schneeberger, 1994 ; Triquet, 1998 ; Triquet & Laperrière, 1999). Et comme les conceptions des élèves sont des outils didactiques révélateurs des besoins d'apprentissage -les obstacles repérés chez les élèves peuvent devenir des objectifs-obstacles pour l'enseignement (Martinand, 1986 ; Astolfi & Develay, 1989/1998, p. 59). Et elles participent aussi à une évaluation diagnostique et finale en vue de mesurer l'efficacité de la stratégie d'enseignement engagée. Selon un autre angle didactique la variabilité des conceptions a été étudiée. Au-delà de la diversité de modèles explicatifs repérée au sein d'une classe, une variabilité individuelle selon le contexte de questionnement de l'élève est constatée (Giordan, Girault & Clément, 1994). Dans ce sens l'hétérogénéité même du système explicatif d'un seul élève est abordée à propos de l'origine des espèces (Crépin-Obert, 2002).

2. 1.1 Première approche, catégorielle : la diversité des conceptions et leur écart au savoir savant, repérage d'obstacles en sciences paléontologiques

Les premières recherches en didactique aboutissent au repérage d'un ensemble **d'obstacles épistémologiques et psychogénétiques** (Astolfi & Demounem, 1996, p. 133-139). Les premiers sont analysés en référence à Bachelard selon une dynamique de changement conceptuel et de rupture par rapport à l'opinion commune qui doit être rectifiée « Dans l'éducation, la notion d'obstacle pédagogique est méconnue. [...] il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne. » (1938/2004, p. 21). Les seconds sont analysés en référence à Piaget (1970) selon une dynamique continue de déséquilibre entre des états stables ou stades de la connaissance, privilégiés pour comprendre le développement intellectuel de l'enfant. Au paradigme génétique, chez Piaget, d'un

développement continu de la connaissance par remaniement et élargissement des raisons présentes, s'oppose le paradigme psychanalytique, chez Bachelard, de connaissances discontinues qui rompent avec ces raisons présentes : « la pensée ne peut se donner un avenir qu'en se libérant du poids de son passé » (Fabre, 1999a, p. 163). Ainsi par exemple la pensée animiste est envisagée par Piaget comme un stade caractéristique du jeune enfant qui prête à tout objet du monde qui l'entoure des sentiments humains ; le vivant et l'inanimé sont confondus chez les jeunes enfants (Piaget, 1947/1999, pp. 175-211). Mais ce n'est pas une spécificité d'âge « la réalité de l'animisme adulte n'en est pas pour autant réfutée » (Laurendeau & Pinard, 1962, p. 31). Alors que la pensée animiste est considérée par Bachelard comme un obstacle révélateur d'une survalorisation de la vie fondant les trois règnes sur une généralisation unitaire abusive (Bachelard, 1938/2004, pp. 179-201). Il cite de nombreux exemples historiques du XVIII^e siècle où analogies et métaphores vitalistes créent du lien entre règne végétal et minéral, procurant ainsi la vie aux minéraux. En conséquence le développement de la pensée enfantine et la pensée commune préscientifique historique convergent vers le même obstacle épistémologique. Les recherches didactiques oscillent donc vers le cadre théorique de la psychologie génétique individuelle de Piaget et sociale de Wallon avant de s'orienter vers celui de l'épistémologie constructiviste de Bachelard et Popper (Fabre, 2001, pp. 107-114).

Spécifiquement à la représentation du concept de fossile, voici organisé dans un tableau l'**ensemble des obstacles génériques repérés** dans les recherches précitées et une explicitation par un élève de primaire pour l'illustrer. Nous avons ajouté dans une troisième colonne les objectifs-obstacles que nous avons déduits en conséquence. Trois obstacles épistémologiques principaux peuvent être décelés : le rapport au temps de courte durée (obstacles 1 à 3 et 5), une mise en histoire réduite à un seul événement, un seul phénomène ou une seule cause (obstacles 2 à 6) sans prise en compte des transformations chimiques ou des changements d'état de la matière, et enfin des frontières non établies entre les différents mondes (obstacles 7, 8, 9, et 10). Cette séparation entre les mondes naturels, végétal et animal (obstacle 7), et ces indifférenciations entre les mondes naturels, minéral et organique (obstacle 8), entre les mondes naturel et technologique (obstacle 9) et enfin entre le monde environnant et l'homme (obstacle 10) sont encore très présente à l'école primaire. La survalorisation de l'animal sur le végétal est décelée par la fréquence des propositions centrées sur divers animaux, essentiellement coquillages et dinosaures. Le lien entre fossile et vivant est déplacé vers fossile et activité humaine. La frontière entre le monde naturel et technique n'est pas structurée. De nombreux élèves conçoivent les fossiles comme une production artificielle et non pas naturelle. Ou alors l'élève prête des sentiments humains au vivant ou au fossile, ce qui correspond un mode de pensée animiste.

Tableau N°3 : **Des obstacles, illustrés par des formulations d'élèves de primaire, aux objectifs-obstacles**

OBSTACLES	Exemples de formulation d'élèves de Cycle 3 (9-11 ans)	OBJECTIFS-OBSTACLES
Obstacle 1 : Vision fixiste atemporelle ou temps historique	<i>Absence de références temporelles</i> Ou (1) « <i>Il faut quelque fois plusieurs siècles pour qu'un animal se fossilise</i> »	Prendre conscience d'un temps long géologique, de sa durée et prendre des repères sur une échelle des temps géologiques stratigraphiques
Obstacle 2 : Le temps, facteur causal suffisant	(1) « <i>La carcasse d'un animal mort qui devient une pierre avec le temps</i> »	Dépasser la magie du facteur temps et envisager une pluralité de paramètres (temps, pression, circulation d'eaux salines dans les sédiments)
Obstacle 3 : vision fixiste, prégnance de l'état actuel	(3) « <i>le squelette ou la coquille s'incruste dans une pierre (dans l'eau ou à l'air libre)</i> »	Concevoir une transformation de la matière et une contemporanéité des fossiles et de la roche encaissante
Obstacle 4 : Singulariser un événement unique ou un phénomène isolé dans le temps et l'espace	-Durcissement : (1) « <i>c'est la coquille d'un animal prise dans la terre qui a durci. Il est resté la trace de la coquille ou des os</i> » -Dessèchement : (4) « <i>Il se fait enfouir par la chaleur, son corps se fait recouvrir et ça prend la forme de l'animal</i> » OU « <i>un animal qui a laissé sa coquille au soleil et la coquille s'est fossilisé</i> » -Écrasement : (2) « <i>Un fossile est un animal préhistorique qui est coincé entre deux pierres, donc on peut voir sa forme</i> » -Transformation en pierre : (1) « <i>ce sont des bêtes mortes qui se sont transformées en pierre en gardant la forme naturelle à cause des intempéries</i> »	Généraliser un événement reproductible et un processus par : -une pluralité de phénomènes -une succession de phénomènes actifs organisés dans le temps -une concomitance/simultanéité/synergie de phénomènes
Obstacle 5 Une catastrophe naturelle	(4) -Éruption volcanique : « <i>C'est des fois de la lave sur des animaux ou des hommes, des arbres, qui a refroidi</i> » (4) -séisme : « <i>un animal ou un végétal meurt sur une pierre, puis par les années le corps s'est compressé avec une autre pierre plus dure par des séismes</i> »	Envisager des causes actuelles et un processus long
Obstacle 6 : métamorphose	(4) « <i>L'ammonite est un escargot</i> »	Passer à une vision populationniste de l'espèce qui évolue par rapport à la stabilité d'un individu ; disparition et apparition d'espèces ; parenté entre groupes
Obstacle 7 : Le fossile est	Citations de fossiles le plus souvent d'animaux : (4) « <i>bête morte, escargot, coquillages, os de dinosaures, insecte,</i>	Concevoir l'unité du monde vivant qui peut se fossiliser, animal comme végétal et humain

prioritairement un animal : une frontière est établie entre le vivant animal et le non vivant végétal	<i>oursin»</i>	
Obstacle 8 : Le phénoménisme , la contiguïté du fossile et de la roche assimile le fossile à la matière minérale, sans avoir pour origine un organisme vivant	(1) « <i>Le calcaire, c'est lui qui fait les fossiles</i> »	Structurer une frontière entre le monde minéral et le monde vivant organique parmi le monde naturel et relier un fossile à un organisme vivant
Obstacle 9 : l'artificialisme	(1)« <i>pierre taillée ; caillou taillé par nos ancêtres ; c'est sculpté, gravé ou moulé par quelqu'un</i> »	Structurer une frontière entre le monde naturel et le monde technique, prendre des repères temporels entre les temps géologiques, préhistoriques et historiques
Obstacle 10 : l'anthropomorphisme ou animisme	(4) « <i>L'animal (fossile) s'est caché dans la pierre</i> »	Différencier le vivant de l'inanimé en dissociant les comportements animaux des caractéristiques humaines ou en évacuant l'intentionnalité dans le processus naturel de fossilisation
(1) Deunff & Lameyre (1990). p. 28, p. 80 (2) Libis & Saderi (1990). pp. 34-35 (3) Gouanelle & Schneeberger (1995). pp. 83-84 (4) études exploratoires préliminaires à la recherche (CM1, école de Besançon-Montjoux, 1996 ; CM1 , école de Besançon-Brossolette, 2001 ; CM1, école de Besançon-Velotte, 2003 ; CM1, école de Quingey, 2004 ; CM2, école de Besançon-Macé, 2005 ; 4^{ème}, collège de Pouilley-les-Vignes, 2004		

La complexité du savoir à construire peut nécessiter de **rapprocher les conceptions des élèves de certaines conceptions historiques** parfois résistantes dans les esprits. Les origines possibles des conceptions des élèves – le catastrophisme, le rapport affectif à l'animal, la perception de durées courtes éloignées d'une échelle des temps géologiques, le temps perçu comme une cause à part entière, une attitude fixiste, les explications de transformation de la matière par transmutation, la prégnance de l'état actuel consolidé des roches sédimentaires-sont révélateurs des obstacles à la construction du concept de fossile (Gouanelle & Schneeberger, 1995, pp. 88-89). Ils peuvent être reliés aux obstacles tout aussi nombreux vécus en histoire des sciences sur la nature et l'origine des fossiles -une chronologie courte souvent de référence biblique, l'anthropocentrisme, les ressemblances exagérées imaginées entre le monde vivant et le règne minéral, la séparation de la fossilisation et de la sédimentation, l'immutabilité des faunes, le catastrophisme-(ibid., pp. 92-95). Les significations historiques des fossiles de nature conceptuelle, théologique ou idéologique nous

aideraient à identifier la nature des obstacles chez les élèves et nous donneraient des repères sur les conditions de possibilités de dépassement de ces mêmes obstacles. Des similitudes sont admises comme la maîtrise des temps géologiques, les modèles de fossilisation dont la génération spontanée ou encore le fixisme. Mais la construction conceptuelle diffère forcément concernant l'impossibilité d'imaginer un temps si long et les considérations religieuses - arguments d'autorité pour les naturalistes anciens mais pouvant être ignorées chez nos élèves d'aujourd'hui-. Donc certaines analogies entre la pensée enfantine et la pensée préscientifique repérée dans l'histoire des sciences nous permettront-elles de tendre vraiment vers une grille commune d'obstacles épistémologiques à gérer en classe ?

Par ailleurs toute réponse d'élève si elle est révélatrice d'obstacles, peut aussi être une ouverture sur **les prémisses d'un savoir à structurer** et à stabiliser. Certaines sont alors intéressantes car elles évoquent la structuration d'un temps long soit directement par nécessité d'une transformation liée à la durée soit indirectement par nécessité d'une transformation de la matière. Ou encore elles amorcent les principes de biostratigraphie, de chronologie relative et de passé révolu (Deunff & Lameyre, 1990, p. 31). Et au sein même d'une pensée d'élève, des fluctuations conceptuelles peuvent opérer (Crépin-Obert, 2002).

2. 1.2 Deuxième approche, systémique : des systèmes explicatifs, des nœuds d'obstacles et des rapports aux savoirs

Nous voici amenés à prendre des repères plus généraux parmi cette diversité de conceptions et d'obstacles associés. Au-delà d'une première catégorisation des erreurs ce sont les directions centrales des conceptions et le discernement des véritables obstacles épistémologiques. Le rapprochement avec l'histoire des sciences est la première piste incontournable pour les définir puisque ces obstacles épistémologiques, par définition ont joué un rôle dans l'origine logique de la connaissance. Les modes de raisonnements principaux sont la deuxième piste envisagée, en référence aux obstacles transversaux bachelardiens. Soit l'architecture recherchée fait appel à une mise en réseau explicatif du concept, soit elle recourt à des grands types de structure de pensée, soit encore elle tente d'articuler savoir, psychologie et société.

La première approche systémique concerne **les systèmes explicatifs ou frameworks** en psychologie cognitive anglo-saxonne. La construction du temps géologique est une préoccupation récurrente des recherches anglo-saxonnes à différents niveaux d'enseignement -primaire (Trend, 1998 ; Wilkinson, 2002), universitaire (Thomas, 2001 ; Libarkin, Kurdziel, & Anderson, 2007) et formation des enseignants du primaire (Trend, 2000)-. Elles cautionnent l'importance de l'aborder sous différents angles d'approche –affleurements et objets géologiques concrets, ou leur substitut en photographies, reconstruction de frises chronologiques balisées par une vingtaine d'évènements géologiques majeurs des temps

« profonds » à l'actuel. Plus particulièrement les deux méthodes fréquemment défendues sont l'étude dans la nature des terrains géologiques avec leurs contenus paléontologiques, et la diversité des questionnements émergeant des discussions entre pairs et entre pairs et les objets géologiques. Les fossiles sont très présents dans les outils conçus pour construire le temps relatif et ils participent de 25% à 50% des protocoles de questionnements (Trend, 1998, p. 983 ; Trend, 2000, p. 543-545). Cette méthodologie de recherche basée sur un questionnement multiple a inspiré un travail sur les systèmes explicatifs globaux des élèves ou frameworks (Crépin-Obert, 2002). Cette notion est utilisée dans la littérature anglaise en didactique des sciences et en psychologie cognitive. Elle recherche la cohérence de l'ensemble des conceptions que l'enfant a pu s'organiser en un système explicatif relationnel. Son architecture peut présenter des ponts ou des nœuds de relation explicitant la logique explicative de la pensée enfantine. Les travaux de Samarapungavan et Wiers (1997) sur l'origine des espèces ont sérié des items principaux généralement en référence à l'histoire des sciences- fixiste, créationniste, spontanéiste, lamarckiste, darwiniste et "fixiste-dinosauriste"⁴⁰. Puis les entretiens individuels appuyés de questions multiples, ouvertes et non regroupées par problème scientifique, permettent de sonder chaque élève à travers plusieurs situations croisées. La trentaine de questions posées portent sur la diversité du vivant et se réfèrent à vingt-huit êtres vivants animaux et végétaux, passés ou actuels. Ainsi la plupart des grands groupes de la classification du vivant sont concernés (mammifères, oiseaux, reptiles, insectes, myriapodes, échinoderme, cnidaire, végétaux). Là encore, ce choix devait permettre d'apprécier la capacité des élèves à transposer leur modèle explicatif sur un grand nombre d'êtres vivants et en conséquence d'évaluer la dominance d'une logique explicative. Le degré de stabilité et de cohérence des conceptions exprimées du système explicatif de l'enfant est évalué, autrement dit le « noyau dur » quelles que soient les questions et les exemples concrets choisis. En définitive dans cette étude de cas, tous les huit élèves entretenus montraient une **logique interne hétérogène**. Nombreuses sont les réponses contradictoires données, montrant que l'enfant change de cadre conceptuel en fonction des situations de questionnement auxquelles il a été soumis. L'appartenance à un cadre conceptuel de référence ou framework n'est pas aussi marquée que dans la recherche anglo-saxonne initiale (Samarapungavan & Wiers, 1997). L'enfant a une logique explicative dominante et des logiques explicatives secondaires qui s'interpénètrent dans un système global de pensée. En général les logiques explicatives fixiste, créationniste et spontanéiste sont associées tandis que

⁴⁰ La référence à des savants comme Lamarck et Darwin pour catégoriser des modes de pensée enfantine n'est pas forcément judicieuse. Les auteurs sous-entendaient respectivement une logique transformiste et une autre logique évolutionniste décelables chez les enfants. Or ces logiques enfantines ne sont que partiellement en conformité avec celles des auteurs en histoire des sciences.

La catégorie originale « fixiste-dinosauriste » signifie que toute la logique explicative de l'enfant mobilise les dinosaures comme premiers animaux sur Terre et ancêtres des espèces actuelles (par exemple le dinosaure-cheval, le dinosaure-tigre, le dinosaure-girafe, le dinosaure-éléphant pour le mammoth, etc). Cette conception est aussi appelée « évolution hollywoodienne »

les logiques explicatives transformistes peuvent être affiliées aux logiques "dinosauristes" ou catastrophistes. De nombreux obstacles épistémologiques sont fortement imbriqués aux obstacles psychogénétiques chez ces enfants de l'école primaire. Dans le premier registre d'obstacles, ceux repérés sont les suivants : l'obstacle lexical autour des termes évolution et ancêtre, la variabilité des repères temporels générant une confusion entre un cycle de vie individuel et une ascendance trans-générationnelle au sein d'une population génétique, un milieu de vie comme cause suffisante de transformation. Dans le second registre d'obstacles, l'anthropomorphisme, le finalisme, l'artificialisme et la pensée dualiste sont convoqués par les enfants. En fait c'est l'obstacle majeur de "*la métamorphose possible dans tout sens*" (Canguilhem, 1985, p.809), en relation avec la pensée primitive magique de l'enfant qui lève les contraintes de barrière spécifique, de temps long irréversible, et d'adaptation lente au milieu. Ce seul obstacle explique en parallèle les obstacles secondaires associés précédemment cités qui dénotent la difficulté de combiner les variables biologique, spatio-temporelle et du hasard. Plus qu'une inconsistance de leur système explicatif, nous pouvons supposer de la part des élèves des tentatives heuristiques et un champ très ouvert des possibles dans leurs premiers essais de raisonnement conjoncture. Nous retiendrons donc **l'instabilité des systèmes explicatifs** d'élèves d'école primaire qui contraste avec de la résistance des conceptions et des obstacles épistémologiques démontrés par l'histoire des sciences servant de grille de référence a priori (Crépin-Obert, 2002).

Par complémentarité la recherche des points stables, de représentations convergentes et d'obstacles transversaux sont recherchés dans le raisonnement des élèves pour dépasser cette complexité. Ce sont sur ces éléments fixes que peut se forger le changement conceptuel, la dynamique des systèmes explicatifs étant inhérente à leur instabilité.

La **seconde approche systémique** concerne les **obstacles transversaux ou nœuds d'obstacles** en didactique française. L'objet didactique des représentations a constitué une base d'organisation de nombreuses situations d'enseignement adaptées aux élèves. Parmi la diversité des explications fonctionnelles des élèves, la résistance et la fréquence de certaines difficultés génériques ont été décelées. Leur mobilisation dans des systèmes explicatifs, constitue des nœuds d'obstacles (Astolfi & Peterfalvi, 1993, pp. 110-111) : le primat de la perception sur la conceptualisation rappelant l'expérience première sensible de Bachelard, l'usage de la pensée catégorielle ou par couples, l'excès de valorisation ou dévalorisation rappelant la survalorisation de la vie de Canguilhem. De plus parmi les alternatives d'enseignement, certaines séquences peuvent être commandées par le franchissement d'un obstacle mis au cœur de l'apprentissage (Astolfi, 1991). Pour la conceptualisation de la formation d'une falaise fossilifère à Dieppe par des CM2, les trois obstacles principaux repérés sont : la représentation en volume associée à l'artificialisme, le fixisme associé à la chronologie des phénomènes - sédimentation marine, fossilisation et érosion-, et puis le temps

unicausal (ibid., pp. 184-185). Ces obstacles principaux traversent les concepts et les disciplines et sont révélateurs des mêmes difficultés de compréhension.

Par exemple l'obstacle transversal d'une **pensée catégorielle** a été repéré chez des élèves préparant une visite dans un musée paléontologique de l'Ardèche (Triquet & Laperrière, 1999, p. 150) : le raisonnement binaire construit des couples notionnels associant souvent un critère et son contraire « animal et fossile / végétal et non fossile », ou alors associant « mou-contenant-roche / dur-contenu-objet fossilisé ». Le premier couple devra être déstabilisé afin d'accorder aussi aux végétaux le statut de fossile potentiels, le second couple devra être élargi sur d'autres fossilisations possibles.

D'un point de vue plus large sur l'apprentissage de la géologie, deux **réseaux d'idées communes, le fixisme et le temps-durée**, font obstacle à la compréhension historique d'objets géologiques (montagne, falaise, cristal, volcan). Ces structures géologiques actuelles, perçues comme permanentes, empêchent de concevoir un changement dans le temps. Par exemple à propos de la fossilisation, l'obstacle de la préexistence de la roche par rapport aux fossiles est central chez les élèves de troisième année de collège. La dureté de la roche, l'observation de coquillages sur le sable ou plaqués sur la falaise, et de fossiles à la surface des roches, constituent un réseau d'idées associées qui renforcent l'obstacle de la non simultanéité de la diagenèse et de la fossilisation (Sauvageot-Skibine, 1995, pp. 151-152). En définitive l'expérience commune empêche les élèves d'avoir un rapport au temps pour une roche, donc de rechercher son âge. De même les élèves de lycée manifestent une résistance à envisager des modifications de structures géologiques donc finalement à envisager des possibles tectoniques pour l'accrétion océanique et la formation des ophiolites intégrées dans les chaînes de montagnes (Orange, D., 2003 et 2001). Les élèves retiennent préférentiellement des critères permanents ou **invariants** (nature et épaisseur des roches, relief, disposition spatiale des roches, failles) par rapport à ces mêmes critères **variants** pour le géologue mise à part le premier décliné de composition pétrologique. Ce qui empêche la construction d'une véritable explication historique.

En relation un autre exemple d'obstacle transversal est à considérer, le **raisonnement séquentiel**⁴¹, ou la « mise en petites histoires simples », qui s'oppose à la modélisation des systèmes complexes comme la nutrition cellulaire ou la tectonique des plaques (Orange, C. & D., 1995). C'est donc un obstacle majeur qui inhibe une prise en considération d'une synergie fonctionnelle. Il peut s'opposer aussi sans doute à la construction nécessairement systémique de l'histoire des vivants sur Terre. Dans cette mise en histoire tout événement irréversible, ne répond d'aucune loi mais ouvre un champ d'incertitudes. Ainsi la disparition d'une espèce,

⁴¹ Cet obstacle transversal a été dégagé par L. Viennot sur des problèmes de mécanique et d'électricité (1989b). OU du même auteur (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia* N°1, 143-155

l'extinction d'un groupe tel les ammonites ou les dinosaures, ou même l'extermination de la faune de Burgess, doivent être intégrées dans un système global d'une évolution historique irréversible et simultanée de la biosphère et de la Terre. Sous cet angle la fonction explicative du temps doit être problématisée pour permettre la construction de la notion de contingence chère à Gould et inséparable de notre histoire des vivants sur Terre qui reste un « ensemble d'évènements extraordinairement improbables, parfaitement logiques en rétrospective et susceptibles d'être rigoureusement expliqués, mais absolument impossibles à prédire et tout à fait non reproductibles » (Gould, 1991, p. 10). Cette analyse rejoint la notion d'**obstacles épistémologiques et mathématiques** qui opposent déterminisme et principe unique à aléatoire et multicausalité pour expliquer l'histoire passionnante de la vie (Girault, 2000). Le courant de pensée initiée par Descartes, la vision déterminisme de l'Univers, devrait faire place à une vision « probabiliste ». Mais des obstacles mathématiques, liés à la compréhension des lois de probabilités, empêchent l'acceptation d'évènements fortuits. Dans ce sens la dérive génétique d'une population isolée est mal comprise : tout échantillon à taille variable ne comprend pas toutes les possibilités et présente des différences de potentiel génétique. Le hasard ou la contingence, concept premier convoqué par S.J. Gould joue là aussi un rôle capital. Il s'ajoute aux difficultés de composer avec un raisonnement jouant sur la multicausalité et la probabilité.

Dans ce même sens l'« observation positive » d'une « **disparition** » en paléontologie est aussi un obstacle épistémologique en soi car elle nécessite une « théorie forte » qui permet de « convertir des indices » (traces positives, directes, empiriques) « en archives de la Terre » (déductions négatives, indirectes, explicatives) (Rumelhard, 1995a, p. 15). Plus généralement la **fonction négative** peut être confrontée à l'obstacle commun d'une très forte dévalorisation liée à toute dégradation, destruction, disparition, réduction chromatique, pour conceptualiser tant en biologie qu'en géologie. La perte de matière et l'effacement des traces par l'érosion, la disparition de la lithosphère océanique par la subduction, sont minorées, difficilement concevables et acceptées par l'esprit humain. C'est pourquoi des concepts, comme ceux d'anatomie comparée et de plan d'organisation, ont dû se construire contre le rêve et l'imaginaire de toutes combinaisons possibles, certaines étant irrémédiablement perdues. Ce qui démontre que l'absence n'a pas une valeur négative en sciences mais qu'au contraire la preuve négative existe. Ainsi dans la logique formelle, prenons le cas d'un raisonnement conjectural typique en géologie ou en toute science historique, l'abduction (Gohau, 2000a, p. 25 et pp. 39-40). Elle permet de raisonner selon une méthode hypothético-déductive basée sur des « archives négatives » de la Terre. Par exemple comme nous pouvons observer des coquilles fossiles d'ammonites dans nos terrains jurassiques alors la présence d'une ancienne mer dans notre région est déduite. Et comme ces mêmes affleurements sont actuellement à sec, alors la mer s'est retirée ultérieurement à la période Jurassique dans la région. Dans ce cas là la logique nous apparaît simple aujourd'hui par la démonstration d'une

cause nécessaire et suffisante. Mais par rapport à l'extinction de ce grand groupe de mollusques céphalopodes, à la fin de l'ère secondaire, autre effet connu, si nous devons remonter aux causes productrices de cette disparition, le raisonnement s'arrête à une conjecture. Celle-ci est composée soit de multiples causes, chacune nécessaire et suffisante, soit à leurs conjonctions simultanées, chacune nécessaire mais non suffisante -réchauffement océanique, compétition interspécifique (Taquet, 2006b) ou encore limitation des innovations et des radiations adaptatives en fonction des exigences du milieu selon le potentiel génétique de organismes vivants (Tintant, 1992)-. De plus du moment où ce concept d'espèces éteintes a été construit par Cuvier à propos du mammoth fossile, puis accepté par la communauté scientifique au début du XIX^e siècle, le champ d'investigation de la géologie a pu être considérablement réduit et la paléontologie fortement corrélée aux données stratigraphiques. C'était, renoncer à l'espoir de nouvelles découvertes d'espèces vivantes analogues, supposées encore enfouies dans des abysses marins ou des contrées terrestres inexplorées comme certains naturalistes le suggéraient au XVIII^e siècle. C'était dérouter l'hypothèse créationniste par la nécessité des créations multiples en trop grand nombre. Mais c'était aussi mettre fin à la diversité déconcertante de théories de la Terre qui tournait en ridicule la discipline géologique dont se moquaient ouvertement les jeunes naturalistes des années 1800 (Rudwick, 1997, p. 122).

L'éventualité de conforter ces divers obstacles repérés dans différents domaines scientifiques et de déceler leur transposition à travers de nouvelles études paléontologiques - les fossiles et le vivant actuel, les fossiles et leurs roches encaissantes, les fossiles et les espèces disparues - est fort probable puisque déjà ils se caractérisent par leur transversalité. Sans doute nos élèves seront-ils résistants aux "variants ", les transformations et l'évolutionnisme, et aussi augmenteront-ils leurs critères au bénéfice des "invariants", la conservation et le fixisme.

La **troisième approche systémique** concerne **les rapports aux savoirs**. Selon plusieurs cadres théoriques, la nécessité est mise en avant de cerner l'apprentissage dans toutes ses dimensions -individuelle, familiale, sociologique, institutionnelle- afin de comprendre l'appropriation des connaissances scientifiques de tout individu. Au lieu de circonscrire le savoir au savoir savant, c'est la relation de sens et de valeur au savoir qui est cadrée. Effectivement rappelons que déjà selon l'axe de la psychanalyse de la connaissance de Bachelard, la construction d'un savoir ne peut dissocier le cognitif, de l'affectif et du relationnel. (Fabre, 1999a, p. 227). Dans un cadre théorique didactique par Charlot, les concepts de représentation et d'obstacle sont élargis en centrant l'étude sur la dynamique des apprentissages, les changement conceptuels chez les élèves qui sont en lien avec le franchissement des obstacles et la mesure d'une évolution des conceptions différenciées au sein d'une classe ordinaire (Caillot, 2001). Sur ce même axe de la didactique des sciences, une recherche est en cours, étudiant les rapports aux objets de savoir que sont les fossiles et l'évolution des êtres vivants chez les élèves de cycle 3 du primaire et de leurs enseignants

(Mairone, 2007). Et selon le cadre théorique de Chevallard, elle interroge le rapport personnel de l'élève et du professeur du primaire en regard avec le rapport institutionnel de ce savoir. En résumé, la prise en compte des conceptions initiales des élèves, leurs catégorisations et le repérage d'obstacles transversaux par l'enseignant, la vigilance systémique des rapports aux savoirs, sont des étapes préparatoires à engager les élèves dans une problématisation sur fossile et fossilisation ainsi que sur leurs champs d'étude connexes indissociables, la sédimentation et l'évolution biologique.

2. 1.3 Vers problématisation et débat, versus conflit socio-cognitif

Le rapprochement entre les concepts de **conflits socio-cognitifs et débats scientifiques problématisants** nous interpellent. Ils prennent tous deux en compte les désaccords –points de vue divergents ou hypothèses explicatives contradictoires- décelés par les conceptions initiales des élèves associant des obstacles. Ils sont tous deux situés dans une dynamique sociale et cognitive selon un modèle référent interactionniste et constructiviste valorisant les échanges entre pairs et les mécanismes complexes d'interactions entre élèves –conformité, soumission, adhésion, etc.-. Autre point commun, ils tentent d'expliquer le rôle de ces interactions en co-résolution par deux fonctions principales, la déstabilisation et l'accompagnement. Or le premier appartient au champ psychologique de la construction de l'intelligence en situation expérimentale clinique de laboratoire mais il est emprunté dans le champ pédagogique. Et le second appartient au champ didactique de la construction des connaissances disciplinaires en situation institutionnelle scolaire. Donc les changements recherchés, les produits cognitifs, la situation sociale sont différemment évalués (Gilly, 1989a). Pour les successeurs de Piaget, la thèse du conflit socio-cognitif théorise à l'échelle individuelle et elle signifie que « des oppositions de réponses (dues à de différences de centrations ou de point de vue) peuvent être *structurantes* si elles provoquent une recherche d'accord par *coordination* des différences individuelles ; les progrès individuels subséquents s'expliqueraient alors par une *intériorisation* de ces nouvelles coordinations individuelles » (Gilly, 1989b, p. 386). La problématisation en cours de débat est la réalisation d'un apprentissage scolaire dans un groupe classe. Le cheminement intellectuel collectif est plus cerné comme un « conflit irritant » de la pensée empirique et de la pensée rationnelle « Précisément une des fonction de l'enseignement scientifique est de susciter des dialectiques. [...] D'une manière plus générale, il (le maître) doit engager l'élève dans la lutte des idées et des faits, en lui faisant bien remarquer l'inadéquation primitive de l'idée et du fait » (Bachelard, 1949/2004, p. 21). Il est nécessaire de replacer les arguments paléontologiques dans le cadre évolutionniste actuel « il y a disproportion entre la facilité de l'empirisme de la constatation d'une part et la difficulté pédagogique de la construction rationnelle d'autre

part. » (Bachelard, 1949/2004, p.20). Par rapport à la banalité des fossiles une immense culture doit être dévoilée, effrayante parfois pour les enseignants (Gouanelle & Schneeberger, 1995, p. 105). Les conditions d'un conflit socio-cognitif ou d'un débat efficace peuvent donc être cernées à deux niveaux, intra ou interindividuel.

La mise en débat ou conflit des idées contradictoires d'élèves, systèmes instables ou résistants selon l'angle d'approche, offre trois axes de travail didactique qui peuvent prendre en compte la différenciation des représentations des apprenants. Selon un premier point de vue il ne s'agit pas de remplacer une conception spontanée isolée par une nouvelle plus adéquate, mais bien de porter l'intérêt didactique sur la transformation du cadre épistémique ou système conceptuel des apprenants (Désautels & Larochelle, 1992). D'un second point de vue des stratégies de travail sur les obstacles et les objectifs-obstacles ont élargi la notion par l'étude des moteurs de dépassement ou franchissement de l'obstacle lors des apprentissages des transformations de la matière (Peterfalvi, 2001). Dans la perspective de rendre efficace un conflit et une rupture il est nécessaire de cibler les grandes tendances d'un raisonnement naturel –évidences largement partagées, expériences communes sensorimotrices, convictions profondes vulgarisées dans un langage quotidien- et de mettre en perspective explicitement leurs cohérences avec celles du savoir scientifique. Le « raisonnement linéaire causal, séquentiel, à une seule variable, et parfois anthropomorphique » est un exemple probant de cette réduction fonctionnelle (Viennot, 1989b, pp. 125-126). Ce qui rejoint la notion d'objectifs-obstacles, objectifs conceptuels majeurs visés par l'enseignant et progrès intellectuels significatifs pour l'apprenant (Martinand, 1989). Et c'est une stratégie de contournement des obstacles soit d'évitement des conflits chez les enseignants (Viennot, 1989b), soit en conformant ou « bricolant » les modèles proposés à leurs conceptions chez les élèves (Johsua, 1989, p. 313). Enfin selon un troisième point de vue il ne s'agit pas de confronter des conceptions initiales pour les fissurer et les déplacer vers des modèles explicatifs plus justes mais bien de faire construire aux élèves des raisons en argumentant et en faisant émerger des nécessités (Orange, 1999). La problématique de changement conceptuel diffère donc de celle de la problématisation. Cadre épistémique ou registre explicatif, raisonnement transversal, franchissement d'obstacle et construction de nécessités sont diverses facettes, pas forcément antagonistes, pour appréhender la construction de la connaissance des apprenants. Même si nous privilégions par le choix de notre cadre théorique le dernier axe, nous resterons vigilants sur les axes précédents. Car les travaux sur la problématisation se sont éloignés quelque peu des obstacles bachelardien, le rationnel s'opposant à l'irrationnel (Peterfalvi, 2006). Ils se sont rapprochés de la psychogenèse piagétienne en regard de l'histoire des sciences. Et c'est bien par ce double biais que nous espérons montrer dans cette recherche que la « discussion entre pairs, aussi contradictoire soit-elle, pourrait permettre le dépassement d'obstacles épistémologiques liés à des ruptures de savoirs dans le passage d'une conception naïve à une conception savante » (Gilly, 1989a,

p. 175), même si l'auteur de cette citation est dubitatif. Les raisons étant constitutives du savoir scientifique, il sera primordial de repérer comment des élèves du cycle 3 du primaire ou ceux de 4^{ème} de collège peuvent accéder à un certain niveau de nécessités construisant le concept de fossile lors des débats scolaires.

Dans la participation des élèves aux débats en sciences, d'emblée signalons qu'une **des conditions didactiques** importantes pour favoriser ou non l'entrée des élèves en problématisation sera sans doute **le choix de la formulation de la question offerte à la classe**. Nous pouvons anticiper l'élaboration d'une progression de questionnement pouvant aller d'une question ouverte –sur la nature des fossiles ou les mécanismes de fossilisation ou encore la signification du fossile pour le géologue-, ou d'une question semi-fermée –citer des fossiles récoltés- vers le relais par une question problématisante -l'analogie entre un fossile et un être vivant actuel-. Nous ne plaçons pas les élèves dans la même situation de réflexion selon l'orientation du questionnement. A partir des questions traditionnelles ouvertes telles « Explique ce qu'est un fossile et comment il s'est formé ? », la multitude de propositions données ouvre sur le problème de la nature et de l'origine du fossile. Alors qu'une question de type « boîte noire » construite en entrant par l'objet naturel -le fossile- et terminant par une de ses finalités –la datation, ou le paléoenvironnement, ou la filiation-, engagera les élèves à se détacher du descriptif et à développer l'espace explicatif entre ces deux pôles : « Comment expliques-tu que les fossiles puissent permettre de dater les roches ? » ou encore dans un contexte régional « Comment expliques-tu que les fossiles d'Epeugney nous indiquent qu'il y avait la mer dans la région de Besançon il y a 160 millions d'années ? » Le dernier questionnement pose clairement la problématique du double rôle des fossiles comme marqueurs du temps -leur fonction stratigraphique- et comme marqueurs d'un espace différent -leur fonction paléogéographique. Une troisième fonction de l'objet fossile peut être abordée en questionnant le passage de la diversité des fossiles à leur filiation. Une « bonne question » n'est pas une condition didactique suffisante. La seconde condition didactique pour amener les élèves à problématiser serait la situation de **débat guidé par l'enseignant**. Individuellement l'élève aura tendance à prendre des raccourcis intellectuels, c'est-à-dire à donner des solutions plus ou moins erronées, explicitées le plus souvent au mode affirmatif. Collectivement la tendance peut s'orienter vers la reconstruction des arguments empiriques et explicatifs qui mènent à une ou plusieurs solutions possibles. C'est l'expertise de l'enseignant développée dans ce type de situation qui sera alors une autre facette didactique à prendre en compte que nous différerons.

2. 2 Spécificité d'une science historique à enseigner

L'enseignement de la paléontologie doit aussi se préoccuper du fait qu'elle est une science par excellence historique puisqu'elle a permis de penser un temps long sagittal. Sa représentation actuelle par l'échelle des temps géologiques, associant temps relatif stratigraphique et temps absolu radioactif, est un outil permanent de toutes les géosciences. Cette dualité de la paléontologie oscillant entre sciences et histoire n'est pas sans poser des difficultés conceptuelles repérées chez les scientifiques du siècle dernier, les chercheurs actuels et les élèves.

Nous prendrons l'exemple du problème de l'origine de la vie sur Terre qui a été étudié en replaçant la paléontologie dans un cadre pluridisciplinaire par S. Tirard (1996, pp. 229-238) ou dans un cadre de problématisation (D. Orange, 2003, pp. 245-321). Ces travaux ont abouti à de **paradoxes épistémologiques** générés par les études paléontologiques et plus particulièrement sur l'émergence historique de l'origine de la vie. La question de l'apparition de la vie sur Terre et sa datation, apparaît lorsque le problème du renouvellement des faunes dans différentes roches est accepté. Paradoxalement c'est quand la généralisation des terrains précambriens nommés « azoïques » est posée que le problème de l'origine de la vie est mis à jour. Alors que ces mêmes terrains révéleront ultérieurement une faune précambrienne antérieure en fait à la faune silurienne qualifiée de « primordiale » par Barrande (Gohau, 1990a, p. 189).

2. 2.1 La place épistémologique de la paléontologie au regard d'autres disciplines sur le problème de l'origine de la vie, une science naturaliste

Concernant la théorie de l'origine de la vie, le statut de la paléontologie du XX^e siècle est celui d'une **science inductive** par **l'observation directe de microfossiles** -premières structures cellulaires des célèbres gisements archéens du Groenland datant de 3800 millions d'années, stromatolithes australiens précambriens-. Ils offrent les « seules preuves tangibles irréfutables » biologiques en contribuant à la conception de l'être vivant primordial (S. Tirard, 1996). La micropaléontologie est aussi une **science historique** par ses rares fossiles microscopiques qui constituent **des archives**. D'ailleurs celles-ci peuvent faire l'objet de débat soit sur leur datation soit sur leur nature biologique – cas de la discussion entre Hovasse et Deflandre en 1961 sur les structures microscopiques de Cote d'Ivoire, le premier interprète les sphéroïdes observés comme des foraminifères, le second des bactéries. Cette approche naturaliste est limitée par la rareté des documents historiques et par l'irréversibilité de l'histoire des vivants sur Terre. Ce manque crucial d'archives paléontologiques en général avait été depuis longtemps repéré par Darwin (1859/1982, Tome 2, chapitre X) qui constatait

l' « insuffisance des documents géologiques » et regrettait la « pauvreté de nos collections paléontologiques » (ibid., p. 57) qui ne lui permettait pas d'étayer sa théorie de sélection naturelle par la preuve de chaînon ou variété intermédiaire paléontologique. Ce qui ne l'empêcha pas de conclure que « toutes les lois essentielles établies⁴² par la paléontologie proclament clairement [...] que les formes anciennes ont été remplacées par des formes nouvelles et perfectionnées, elles-mêmes le résultat de la variation et de la persistance du plus apte. » (ibid., p. 154). Ainsi le registre des modèles explicatifs et des théories peut suppléer un registre empirique déficient.

De plus pour élaborer la théorie complète de l'origine de la vie, une **approche pluridisciplinaire** sera nécessaire. Par l'approche naturaliste du paléontologue, le début de la vie correspond aux fossiles les plus primitifs, les bactéries. Elles sont intégrées dans un arbre phylogénique des organismes à structure procaryote dans un cadre de pensée évolutionniste. En complémentarité par l'approche expérimentale du chimiste, l'origine de la vie correspond en une reconstitution moléculaire d'un modèle de « soupe prébiotique ». Stéphane Tirard qualifie de modèle hybride et original, l'élaboration conceptuelle de biogenèse évolutive. En effet le terme de **théorie-récit** qu'il emploie pour le caractériser, marque son **identité épistémologique paradoxale** nécessaire du fait que « l'expérimentation propose des reconstitutions qu'elle ne peut prouver absolument et l'approche historique manque d'archives » (Tirard, 2000b, p. 123). Le produit de la science –par sa fonction explicative- et de l'histoire –par sa fonction d'archivage des traces ordonnées des êtres vivants- consiste en des **récits explicatifs non vérifiables** car non reproductibles et donc réfutables (ibid., p. 115). Nous pouvons généraliser ceci à l'œuvre globale du paléontologue qui reconstruit l'histoire du vivant, de la matière inerte aux vivants, en une succession d'évènements contingents imprévisibles mais probables, parfois singuliers, le long d'une échelle de temps irréversible (Gould, 1995, pp. 62-64). L'articulation de champs disciplinaires, seule, permet la construction d'un modèle synthétique oscillant entre deux pôles de raison, scientifique et historique (Tirard, 1996, p. 239). Les données paléontologiques, seuls faits avérés mais aussi interprétés, interagissent avec les spéculations expérimentales de la biologie moléculaire et de la chimie – fondées sur le postulat d'un ensemble de conditions d'un milieu primitif -. Au regard de la chimie prébiotique la paléontologie apparaît ici comme une **discipline naturaliste**. De tous temps par ses archives discontinues, le paléontologiste ne peut s'engager vers des modèles spéculatifs qu'en mobilisant des lois et d'autres disciplines (Furon, 1951, p. 126).

Quelles **conséquences pour l'apprentissage des spécificités épistémologiques d'une science historique** ? L'élève doit s'affronter à une diversité de données, de méthodes et de

⁴² En 1859 Darwin peut évoquer sous ce terme de « lois », le principe de superposition stratigraphique corrélée à l'ancienneté des couches et au temps long, la succession des faunes et flores au cours du temps, et le principe de l'actualisme ou des causes actuelles.

statuts épistémologiques issus de contraintes pluridisciplinaires –micropaléontologie, géochimie, biologie moléculaire- pour la recherche d'une solution la plus probable. Cette construction est délicate pour les élèves qui attendent souvent que la Science personnifiée et l'enseignant leur assurent des réponses. Mais cette difficulté conceptuelle est intrinsèque à la géologie, « science historique, science originale qui va rechercher les événements passés dans ses archives, mais qui ne pourra pratiquement jamais vérifier de lois, la répétition étant exceptionnelle et le temps non-réversible » (Monchamp & Sauvageot-Skibine, 1995). Elle doit donc être acceptée en assumant les conséquences de son enseignement. Cette **dualité problématique**, scientifique et historique de l'origine de la vie, relève d'un questionnement de longue durée sur cet événement unique. C'est tout l'intérêt d'enseigner ce modèle synthétique tout en l'associant à la critique lors de la reconstruction avec les élèves. La voie de la problématisation est ouverte pour comprendre « ce processus actuellement révolu inaccessible à l'investigation directe. » (Tirard, 2000c, p. 61). Ces faits paléontologiques irréversibles sont reconstruits et cette reconstruction est source de débats, « la science a ses régularités, qu'on traduit par des lois, tandis que l'histoire a ses événements qu'elle recherche dans ses archives. La rencontre des deux méthodes n'est pas sans faire de problèmes. » (Gohau, 1990a, p. 11). Faire bénéficier les élèves de la construction dynamique d'un modèle didactique simplifié mais reposant sur une méthode analogue de la communauté scientifique serait l'objectif d'une transposition didactique éclairée (Tirard, 2000a, p. 210). D'autant plus qu'il semble difficile de se satisfaire d'un enseignement dogmatique sur ce sujet d'étude en cours d'élucidation. Non seulement l'enseignant renoncerait aux apprentissages d'une approche systémique et hypothétique mais aussi tromperait les élèves sur les fruits cognitifs de cette réflexion autour de l'origine de la vie. Entre le dogmatisme et le constructivisme, nous préférons dire qu'« il est plus efficace (et plus raisonnable) de mettre sous surveillance épistémologique » parfois incontournable, cette reconstruction (Astolfi & al., 1997, p. 181). Voyons-en les conditions de possibilités étudiées dans le cadre de la problématisation avec les élèves de lycée.

2. 2.2 La place épistémologique de la paléontologie dans la problématisation de l'origine de la vie, une science des modèles

Le travail de D. Orange (2003) veut caractériser et comparer les différentes utilisations du temps par les chercheurs actuels et les élèves de lycée à travers différents concepts géologiques dont celui de l'origine de la vie. Les lycéens, de la seconde à la terminale, la banalisent comme un **phénomène reproductible** pouvant donc se produire encore aujourd'hui. Tandis que les chercheurs construisent l'origine de la vie comme un **événement**

unique et contingent dans l'Histoire de la Terre avec toutes les difficultés conceptuelles que cela entraîne.

En regard aux **cadres épistémiques**, la difficulté est réelle pour la communauté scientifique actuelle de construire le problème de l'origine de la vie. En s'affranchissant de trois « démons », une pensée vitaliste (par négation d'une force vitale inhérente aux vivants, refus de l'idée de génération spontanée), une pensée finaliste (ou directionnalisme) et une pensée créationniste, ils ont pu poser véritablement le problème du passage de la matière inerte à la matière vivante dans un cadre matérialiste (ibid., pp. 251-252). Quant aux élèves, ils tombent souvent dans un vitalisme naïf (ibid., pp. 306-307), ou adhèrent à la génération spontanée d'êtres vivants simples, petits dont les végétaux (ibid., p. 297). Et en conséquence, soit ils détournent le problème de l'origine de la vie sur les conditions environnementales ou nutritionnelles, soit ils l'éludent au profit d'une mise en histoire des vivants sur Terre. Une fois le problème posé, la complexité des registres des chercheurs, registres empiriques d'une part -pluridisciplinaires, de terrain et de laboratoire- et registres explicatifs d'autre part – matérialisme, évolutionnisme, actualisme de premier et deuxième niveau-, pointe un écart considérable avec la problématisation amorcée et souvent implicite des élèves. La catégorisation des réponses d'élèves est affiliée à l'histoire des sciences (créationnisme, évolutionnisme, fixisme, spontanéisme-environnementalisme, matérialisme, panspermisme). Des **problématisations différentes** entre chercheurs et élèves, entre élèves d'une même catégorie et des registres explicatifs mixtes pour un même élève démontrent une désarticulation du problème. Ils ont une tendance marquée à dissocier l'origine, facilitée ou même immuable, des végétaux de celle des animaux. Voici en synthèse un tableau comparatif que nous avons établi, faisant apparaître les divergences entre les conceptions historiques récentes, les conceptions des chercheurs interviewés aujourd'hui et les conceptions des élèves de lycée interrogés. Trois indicateurs des notions inhérentes au problème de l'origine de la vie servent d'items spécifiques : la composition de l'atmosphère primitive, la nature des premières formes de vie supposées, et les conditions nécessaires et suffisantes pour leur genèse.

Tableau N°4 : **Synthèse comparative des conceptions historiques, modernes et d'élèves de lycée, sur la problématique de l'origine de la vie**

	Conceptions historiques du XX^e siècle	Conceptions actuelles	Conceptions des élèves de lycée
Atmosphère primitive	Réductrice, privée de dioxygène	Composée de CO ₂ , d'azote et d'eau	Dioxygène, (steady state) Identique à l'actuelle
	Nécessité de conditions environnementales différentes car dégradation de matière organique en présence d'O ₂ dans le cadre évolutionniste		Nécessité de vivre donc de respirer avec de l'oxygène selon un cadre stationnariste
Premières formes de vie	Structures cellulaires simples (procaryotes)	Petites molécules organiques autorépliquatives et évolutives	Organismes, cellules, ou molécules
	Nécessité d'un ancêtre commun dans le cadre évolutionniste et en lien avec la théorie cellulaire unitaire actuelle	Impossibilité d'une émergence simultanée et abiotique de protéines et d'acides nucléiques donc cellularisation postérieure ; nécessité de 2 fonctions minimum pour qualifier un système vivant en lien avec l'information génétique actuelle	Impossibilité explicite d'une forme complexe donc nécessité d'une forme initiale simple (cellule, phytoplancton, petit végétal) fonctions d'organisation ou de relations trophiques actuelles
Origine/ Localisation	des réactions chimiques dans l'atmosphère et l'océan : « soupe primitive »	Des réactions prébiotiques dans des zones particulières terrestres id. sources hydrothermales actuelles ou associant nécessairement une surface minérale, une température de 20° à 80° + apports extraterrestres de molécules organiques	Conditions environnementales et nutritionnelles en conformité à l'actuel nécessaires au maintien de la vie plus qu'à son origine : température modérée, matières nutritives, activité géologique
	Consensus de refuser la panspermie, et 90% de l'histoire des vivants dans l'eau donc contrainte d'une émergence terrestre aquatique		Des possibles

Essentiellement **les rapports à l'actuel et au temps** sont très contrastés, décalés entre les chercheurs et les élèves. Nous constatons que la contrainte de raisonner avec le monde naturel actuel est un obstacle quand le raisonnement est unicausal et unicritérié chez les élèves alors que le raisonnement est obligatoirement systémique chez les chercheurs ce qui leur permet de se dégager en partie de l'actuel. Pour la majorité des élèves « le temps n'intervient quasiment pas » et l'actualisme d'analogie calqué aux êtres vivants actuels est prédominant (ibid., p. 317). Et quand le temps est mobilisé, il va à l'encontre de celui du chercheur. Pour les élèves,

un temps long peut permettre d'envisager l'émergence de la vie, en ce sens il devient un temps causal. En conséquence la durée rend probable l'impossible « nous avons, en nous accordant des millénaires, licence de noyer le mystère dans la durée (Rostand⁴³, 1954, cité par Tirard, 2000b, p. 116). En revanche les chercheurs ne contraignent pas cet évènement uniquement par la nécessité d'une longue durée (D. Orange, 2003, p. 266). Mais ils exploitent ce temps long pour rendre probable l'émergence de formes vivantes primordiales, modélisées sous la forme de molécules autorépliquatives et évolutives, par une cascade obligée de réactions chimiques au voisinage de surfaces minérales (ibid., p. 330). Aussi quand les élèves évoquent des métamorphoses successives des formes vivantes ou un catastrophisme pour mettre en histoire une seule chaîne évolutive de complexité croissante, ils raisonnent à un premier niveau d'actualisme -ou actualisme d'analogie- et des courtes durées. En revanche, dans ce cas là, les chercheurs mobilisent un temps long -actualisme de second niveau- pour construire la succession d'évènements depuis celui des formes primordiales de vie jusqu'à la biodiversité actuelle.

En contrepartie d'un actuel prégnant, la **difficulté principale de la problématisation** semble être ce passage de « tous les possibles » par les élèves à certains probables appuyés par la construction de contraintes raisonnées (empiriques, théoriques et explicatives) : « l'élève pense des bonnes solutions sans identifier les bonnes contraintes » (ibid.). Nous remarquons ainsi que **la paléontologie** est omise complètement des registres empiriques des six élèves entretenus, sauf un seul qui la convoque indirectement par la crise Crétacé marquée par le cliché fortement médiatisé de disparition des dinosaures (ibid., p.315 et Annexe 16, p. 161). Le recours aux traces fossiles est globalement absent et le raisonnement est construit sur un actuel exclusivement biologique (biodiversité stable, modes de nutrition animale et végétale, reproduction humaine ou par graine, respiration). Dans une étude pluridisciplinaire modélisant l'origine de la vie, le statut de la paléontologie est d'offrir **des contraintes empiriques** (Tirard, 1996). L'absence de trace paléontologique de l'épisode prébiotique contraste avec une « explosion » paléontologique précambrienne dont les stromatolithes. Elles se situent par rapport à d'autres contraintes du même registre : de nombreux impacts météoritiques, des études en planétologie comparée et des expérimentations prébiotiques incomplètes qui n'offrent pas le passage de l'évolution des molécules aux procaryotes. C'est bien l'ensemble de ces données qui participe à une représentation explicative des formes vivantes primordiales. La première contrainte agissant sur les modèles est le choix de postuler une origine exclusivement terrestre pour raisonner. La panspermie totale –ensemencement de la Terre par des êtres vivants venus de l'espace- ou partielle –ensemencement de la Terre par des matériaux prébiotiques- après débat est reléguée mais les incertitudes demeurent. La deuxième contrainte est de raisonner dans un cadre évolutionniste : la biodiversité des vivants

⁴³ Rostand, J. (1954). *Pensée d'un biologiste*. Paris : Le livre de Poche. p. 50

actuels et passés contraste avec l'unité structurelle cellulaire et biochimique des vivants, ce qui impose l'idée d'une origine unique, un ancêtre primordial commun impliquant le transformisme.

En conclusion le problème de l'origine de la vie montre de nombreuses difficultés pour sa construction conceptuelle déjà au niveau des scientifiques actuels et d'autant plus au niveau des élèves de lycée. Ce repérage nous alerte sur le choix opéré de traiter et transposer en classe ce savoir complexe et non stabilisé encore par la communauté scientifique, **question** que nous pourrions qualifier de « **problématiquement vive**⁴⁴ ». Qu'en serait-il des problématisations à propos du concept de fossile par rapport aux utilisations du temps ? Elles peuvent mobiliser un temps sagittal ou un temps cyclique (Gould, 1990). La flèche du temps est construite par les faunes différentes archivées dans une colonne stratigraphique. Le temps cyclique peut être mobilisé par le phénomène régulier de fossilisation et les cinq crises évènementielles d'extinctions identifiées au cours du temps. La pluralité des registres et des temps est à explorer.

Aussi la spécificité de la paléontologie, en tant que science historique, est bien de reconstruire le passé par ses archives fossiles. Les traces paléontologiques sont des marqueurs de temps long sagittal et permettent de placer dans les temps géologiques l'arbre phylogénique du vivant (Lecointre & Le Guyader, 2001, pp. 40-43). Mais comme presque tout évènement est unique et que le temps est irréversible, alors des principes de raisons sont établis en paléontologie. Or ceux-ci étant non vérifiables, des lois paléontologiques ne peuvent être déduites et la problématique reste ouverte !

Conclusion Chapitre 2 : Des paradoxes envisagés pour la construction de la connaissance paléontologique

Si le lien entre les archives fossiles et l'évolution des espèces apparaît comme une évidence pour les néodarwinistes aujourd'hui⁴⁵, quels problèmes et obstacles ont semé d'embûches la construction du concept paléontologique sur plusieurs siècles ? Comment les fossiles, au cœur aussi d'ouvrages créationnistes encore aujourd'hui, sont-ils alors pris en considération ? La première rupture épistémologique a induit le changement conceptuel du

⁴⁴ expression inspirée des travaux de Laurence Simonneaux s'intéressant aux questions biotechnologiques socio-scientifiques qui peuvent être qualifiées de « socialement vives » car à l'origine de débats contemporains de sociétés. Cf. Simonneaux, 2001, Le débat en classe sur les biotechnologies favorise-t-il l'argumentation fondée des élèves ? *Actes des Deuxièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Skolê, 345-357

⁴⁵ Un récent ouvrage à destination d'un public scolaire marque fortement ce lien « Les archives fossiles témoignent de cette évolution (origine commune des espèces, influence des grands évènements biogéographiques et climatiques) ». *Textes et Documents pour la Classe –École, N°8 L'évolution des espèces*, 15 décembre 2007

système géocentrique au système héliocentrique⁴⁶, la planète Terre est décentrée dans l'Univers par des études astronomiques et mathématiques. La seconde rupture est en marche à partir des études paléontologiques et génétiques : le changement conceptuel d'un système anthropocentrique au système de « biodiversité contingente », qui relativise toujours plus la place de l'Homme sur Terre. Ce n'est pas sans difficultés liées à de nombreux paradoxes :

- paradoxe pour l'émergence du concept d'origine de la vie à partir des terrains « azoïques »
- paradoxe d'une épistémologie entre théorie et récit d'une science historique, palliant les manques d'archives paléontologiques
- paradoxe de la paléontologie par son appartenance aux géosciences bâties sur des principes, comme le principe de l'actualisme à la fois contrainte de raisonner avec la nature actuelle mais aussi liberté de s'en distancier par un temps long.
- paradoxe des conceptions instables des élèves et des obstacles épistémologiques récurrents et donc résistants.

Comment les élèves vont-ils appréhender ces contradictions ? Vont-ils au moins en prendre conscience ou vont-elles leur échapper ? Un paléontologue catastrophiste comme Georges Cuvier alertait sur les raisonnements géologiques considérés comme fantaisistes

« Cette nécessité où ils (les géologues) se sont vus de chercher des causes différentes de celles que nous voyons agir aujourd'hui, est même ce qui leur a fait imaginer **tant de suppositions extraordinaires**, et les a fait errer et se perdre en **tant de sens contraires**, que le nom même de leur science [...] a été longtemps un sujet de moquerie » (Cuvier, 1825/1985, p. 60)

Toute cette vie intellectuelle faite de dialectiques et de paradoxes enracine la richesse de notre discipline à enseigner même si c'est ce qui la rend ardue. « Première des sciences philosophiques », elle seule, offre un regard élargi à double dimension spatio-temporelle sur l'histoire de la vie et de la Terre car elle nous fait « comprendre le sens des termes certitude, hypothèse, doute, ignorance et, par conséquent à les bien distinguer. » (N. Boubée puis M. Oria, cités par G. Gohau, 2001, pp. 75-76).

⁴⁶ Ce changement conceptuel a donné lieu à une recherche en didactique : Merle, H. (1999). *Apprentissages des mouvements de la Terre à l'école élémentaire : D'une vision géocentrique au modèle héliocentrique*. Thèse dir. J.-M. Dusseau : Université du Languedoc

CHAPITRE 3 : UNE PROBLÉMATIQUE EN ÉPISTEMOLOGIE COMMUNE A LA DIDACTIQUE ET A L'HISTOIRE DES SCIENCES

Le savoir scolaire et ses relations avec la genèse historique du savoir savant ont été discutés en philosophie des sciences, en psychologie cognitive et en didactique. Quels qu'ils soient les mécanismes de passage d'un enchaînement séquentiel de la pensée préscientifique à la pensée scientifique relèvent de l'épistémologie. L'intérêt d'une comparaison entre la construction des savoirs scolaires par les élèves et la filiation des connaissances et des idées en histoire des sciences veut être recherché.

Un premier parallélisme a été fait en **épistémologie génétique** voulant découper la connaissance historique et individuelle en stades placés sur une ligne du temps⁴⁷. Ce principe est inspiré de la métaphore « l'ontogenèse du développement mental récapitule la phylogénèse des connaissances » issue d'une transposition de la loi biogénétique d'Ernst Haeckel au XIX^e siècle « l'ontogénie récapitule la phylogénie ». Cette théorie « récapitulacionniste », séduisante et transposée dans de nombreux domaines, est devenue obsolète en 1920 en biologie par l'étude des animaux néoténiques et des mécanismes de l'évolution (Raichvarg, 1987, p. 7). C'est une impasse dans laquelle le didacticien ne doit pas se fourvoyer. La fécondité d'un rapprochement entre la construction historique et la construction individuelle de la connaissance peut être décelée sous conditions. Seulement si son analyse comparative porte sur les processus et les modes de pensée qui génèrent le passage d'une connaissance préscientifique à celle scientifique, si elle considère la science en train de se faire socialement et si elle se distancie d'une séquence historique de résultats de savoir « Puisque tout savoir scientifique doit être à tout moment reconstruit, nos démonstrations épistémologiques auront tout à gagner à se développer au niveau des problèmes particuliers, sans souci de garder l'ordre historique » (Bachelard, 1938/2004, p. 10). D'ailleurs Piaget a abandonné cette théorie de récapitulation dans un dernier ouvrage fondateur *Psychogénèse et histoire des sciences* (Piaget et Garcia, 1983). Ces auteurs étudient l'analogie des processus de transformation de la connaissance entre deux périodes historiques et entre deux stades génétiques, constatant des régressions. Et leur étude met en avant l'intérêt des similitudes ou « isomorphie » entre les structures prélogiques d'un développement individuel de l'enfant et les normes rationnelles historiques à la naissance d'une discipline. La réflexion s'est poursuivie dans le but de comprendre une évolution de la pensée scientifique, mais dans un cadre scolaire. C'est pourquoi nous préférons parler

⁴⁷ PIAGET, Jean, 1966, *Biologie et connaissance : essai sur les relations entre les régulations organiques et les processus cognitifs*, Paris, Gallimard

d'**épistémologie didactique** plutôt que d'épistémologie génétique trop attachée aux stades individuels. Au pôle opposé du modèle récapitulatonniste remis en cause précédemment, l'acceptation peut être soutenue d'un savoir enseigné coupé de ses sources savantes historiques jusqu'à sa dénaturation « Le savoir que produit la transposition didactique sera donc un savoir exilé de ses origines, et coupé de sa production historique dans la sphère du savoir savant ; se légitimant, en tant que savoir enseigné, de n'être d'aucun temps ni d'aucun lieu » (Chevallard, 1985, p. 15). D'autant plus que la méconnaissance des enseignants des méandres historiques est fréquemment constatée et l'auteur regrette une culture épistémologique minimale. La conformité entre savoir enseigné et savoir savant est fictive d'autant plus que ses origines sont oubliées. Ceci n'équivaut pas pour autant à un rejet de l'intérêt de l'histoire des sciences pour comprendre les filiations, les ruptures et les refontes entre le savoir savant actuel et passé. Une histoire des sciences catégorisée est déclinée selon des démarches opposées : dogmatique ou pragmatique, inductive ou déductive, internaliste ou externaliste, empiriste ou constructiviste, enseignée au niveau des enseignants ou des élèves (Mathy, 1997b). Ces contrastes peuvent alerter en conséquence sur les choix possibles d'enseignement. Mais au-delà de ces oppositions, nous allons rappeler l'importance des relations entre histoire des sciences et apprentissages scientifiques selon quatre significations de la science en « marche », un réseau de connaissances plus ou moins élaborées, des modèles explicatifs provisoires, un progrès lié à des élucidations toujours partielles, une démarche de problèmes et des pratiques de débats.

3. 1 Des modèles préscientifiques convergents

La grille de lecture que confère l'histoire des sciences en regard d'une reconstruction didactique raisonnée est admise par nombre de didacticiens et d'historiens. Par consensus la **proximité remarquable des conceptions historiques et des prémodèles des élèves** en sciences peut permettre de mieux appréhender les difficultés rencontrées lors de l'appropriation d'un savoir donné. La prudence exige de ne pas pour autant tomber dans l'anachronisme et l'interprétation d'un raisonnement similaire car les cadres épistémologiques sont obligatoirement différents (Johsua & Dupin, 1993, pp. 135-136). Mais la comparaison entre une pensée soutenue adulte et une pensée labile éphémère d'un apprenant peut être féconde par l'interprétation des obstacles majeurs persistants. Par leur durabilité et leur analogie ils permettent de collecter des hypothèses possibles tentées et une meilleure prise en compte des difficultés rencontrées (Martinand, 1993). L'articulation entre les pensées préscientifique et scientifique sera déliée.

En parallèle des **obstacles épistémologiques communs en histoire de la géologie et en apprentissage scolaire** confortent déjà le rapprochement possible révélé par l'émergence des

conceptions naïves à partir de deux études de cas, l'orogénèse et le volcanisme. La formation des montagnes est conçue dans le cadre d'une pensée préscientifique comme un événement géologique unique, lié à une vision catastrophiste, induisant un temps linéaire historique. Mais la convergence entre cette pensée commune actuelle des élèves et la pensée préscientifique historique ne permet pas de rechercher une identité, seulement une analogie, les contextes techniques et sociaux étant trop éloignés (Gohau, 1995b, p. 31). Là encore la tentation « récapitulacionniste » entre un développement de pensée des élèves et une histoire élaborée par palier est hors de propos. Dans le même courant d'idées, la comparaison entre la construction historique et l'apprentissage scolaire du concept du volcanisme dans ses relations avec le fonctionnement interne de la Terre, permet de repérer des similitudes (Orange, 1995). Les mêmes grandes catégories de modèles explicatifs -local, central et global- se retrouvent entre élèves et naturalistes du XVIII^e au XX^e siècle. Une diversité analogue de problématiques -origines de la chaleur de la Terre et de la lave, cause des éruptions, localisation des volcans- se dégage. Par cette étude comparative la notion épistémologique de **changement conceptuel** envisagé selon les paradigmes kuhnien ou les ruptures bachelardiennes, est renforcée (Orange, 2002, p. 27). Ainsi lorsque la phénoménologie du volcanisme de Buffon en analogie avec les connaissances de la chimie du feu et de la combustion (Fabre, 1999a, pp. 185-187) est analysée dans le cadre de la problématisation, elle montre le changement nécessaire de problématique par les communautés scientifiques qui se sont succédé. D'une problématique de la fin du XVIII^e siècle sur l'origine d'un magma préexistant dans les profondeurs terrestres, les géologues du XX^e siècle se sont vus contraints par la sismologie de passer à une problématique de formation de magma dans un globe essentiellement solide (Fabre, 1993, pp. 85-86). La mobilisation d'un système complexe de matière et d'énergie, à plusieurs variables (pression, température, eau), a conditionné cette transformation historique et elle sera nécessaire aussi, au saut cognitif chez les élèves (Orange C. et D., 1993) en situant le système Terre dans un rapport historique long et contingent (Orange C. et D., 1995).

La résurgence est toujours surprenante. Alors plus précisément dans le domaine de la paléontologie, quelles conceptions majeures sont convergentes et quels obstacles sont associés dans un cadre historique et scolaire mis en relation ?

3. 2 Une posture d'enseignement orienté vers la conquête du sens d'un savoir construit et provisoire

En conséquence la **fécondité de l'histoire des sciences pour l'enseignement** primaire et secondaire (Langevin, 1964⁴⁸) est donc toujours d'actualité. Déjà au début du XX^e siècle la lutte était engagée de renouveler les programmes d'enseignement « en éclairant le pédagogique par l'historique » (ibid p. 215). L'opposition était marquée entre une conception d'apprendre statique et une conception nouvelle dynamique de comprendre instituée par la réforme des programmes sur l'enseignement des sciences de 1902. A l'encontre des méthodes traditionnelles expositives dogmatiques, elle prônait la « méthode nouvelle de la redécouverte » défendue plus tard par Charles Brunold⁴⁹(1948) qui préconise de « faire parcourir rapidement le chemin que les savants de toutes les époques ont suivi »⁵⁰. L'idée maîtresse est de faire construire les savoirs par les élèves selon des méthodes actives, socratiques, heuristiques et inductives. Aussi ces valeurs éducatives novatrices sont pour l'essentiel la libération de l'esprit et son assouplissement vers la critique et l'hypothétique –et non le dogme et le vrai- ainsi que la modestie devant la connaissance mais aussi la confiance dans la conquête future du savoir. C'est pourquoi la science ne devrait pas être abordée par un enseignement dogmatique, figé et fragmentaire de lois et de faits donnant « l'impression de science définitive et morte ». Bien au contraire elle devrait être vécue par un **enseignement provisoire et homogène** donnant « le sens vivant du progrès continu ». « Tout ce qui peut donner à l'enfant un sens précis de l'effort collectif, et des liens vivants qui rattachent le présent au passé » permettra de maintenir l'intérêt et la curiosité de l'élève, et aussi de ne pas le tromper sur la construction de la science pour qu'il ne s'en détourne pas à la première réfutation (ibid., p. 208). Car il est incontestable pour tout scientifique, historien et philosophe que « la science est en perpétuel devenir » puisque « validité, nécessité et justification » sont les fondements de la nature constructiviste des connaissances scientifiques réorganisées, ajustées, corrigées, ajoutées (Piaget et Garcia, 1983, p. 19 et 35). Alors dans cette reconstruction scolaire de la connaissance il s'agira principalement de chercher à comprendre comment se sont effectués les déplacements de problème, en particulier lors des controverses qualifiées parfois de « moteurs de la science » (Raichvarg, 1997, p.111). Plus particulièrement

⁴⁸ Objet d'une conférence donnée par Paul Langevin au Musée pédagogique, alors professeur de physique générale et expérimentale au Collège de France depuis 1909. Le premier compte-rendu a été effectué à partir des notes de M. Guibé et publié en décembre 1926 par le *Bulletin de la Société française de pédagogie*, n° 22

⁴⁹ Charles Brunold est physicien, directeur de l'enseignement du second degré dans les années 1950

⁵⁰ Conférence du 19 mars 2008 donnée dans le cadre de la 8^e *journée d'étude de l'école doctorale « savoirs scientifiques » de l'Université de Paris-Diderot -Paris 7* intitulée Intelligence des contenus et méthodes d'enseignement. Un renvoi bibliographique peut être référencé à l'article de G. Gohau. (2002). Redécouverte d'hier et d'aujourd'hui. In N. Hulin (dir.), *Sciences naturelles et formation de l'esprit. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902* (pp. 163-181). Villeneuve d'Ascq : presses univ. du septentrion..

pour l'enseignement de la paléontologie, quelles sont les problématiques majeures convergentes qui ont donné lieu à des débats en histoire des sciences et peuvent constituer des problématiques pertinentes en classe ?

3. 3 Une progression logique des problématiques libérant la critique et le questionnement

Les débats scientifiques et les arguments avancés par les différentes communautés en histoire des sciences permettent de démonter les problématiques successives construites. Une étude de cas en géophysique est élaborée dans ce sens (Brunn, 1995). **L'enchaînement des problématiques en histoire des sciences**, en référence ici à la compréhension de la structure et du fonctionnement géophysique du globe terrestre, est pertinent pour une transposition didactique éclairée « l'enchaînement historique du progrès de la science correspond souvent à l'enchaînement logique le plus favorable à la présentation et à l'acquisition des connaissances » (ibid., p. 145). Ainsi les problématiques géophysiques se sont enchaînées de la sorte : la forme et les dimensions de la Terre, sa masse et sa densité globales, la constitution interne du globe terrestre, les propriétés physiques -rigidité ou relative plasticité- de ses enveloppes, enfin le déplacement des masses rocheuses –continentales puis lithosphériques- dans une échelle de temps considérable. Outre la raison pédagogique, deux autres raisons essentielles psychologiques justifient le rapprochement entre l'histoire des sciences de la Terre et son enseignement selon le même auteur. Rassurer l'apprenant face à l'édifice du savoir savant actuel gigantesque lorsqu'il découvre les démarches tâtonnantes d'illustres naturalistes. Et enfin libérer aussi l'esprit de l'apprenant par la critique constructive et la motivation de découvertes géologiques toujours possibles.

De plus pour l'enseignant **l'intérêt didactique** n'est pas négligeable **de connaître le cheminement intellectuel complexe et erratique des communautés scientifiques** en regard des cheminements intellectuels des élèves. Car si l'enseignant veille sur la construction d'un savoir actualisé, il ne peut parfois ignorer les apports de l'histoire des sciences. Sur cette même idée le groupe d'experts consultés pour des nouveaux programmes⁵¹ de rénovation du collège, justifie l'entrée de l'Histoire des sciences en juxtaposant les paliers en systèmes explicatifs des élèves et des communautés scientifiques passées, jalonnés de représentations et d'obstacles « L'enseignement à partir de l'Histoire des sciences représente une réelle opportunité de motivation pour les élèves, dont il favorise la curiosité. Il permet de les faire

⁵¹ Ministère de la Jeunesse, de l'Education et de la Recherche (2005). *La rénovation des programmes de collège. Consultation sur les projets proposés par le groupe d'experts- Science de la vie et de la Terre.-* Introduction, DESCO, p. 3. -www.eduscol.education.fr. Ces programmes sont entrés en vigueur à la rentrée 2005 pour les élèves de 6^e et à la rentrée 2008 pour les élèves de 3^e de collège.

réfléchir sur la façon dont se construisent les savoirs, de manière rarement linéaire et progressive, par tâtonnements, par remise en cause des théories incomplètes ou erronées. C'est également une façon de prendre en considération les représentations et obstacles qui existent à chaque étape des apprentissages ». Cette rubrique ajoutée intéresse et incite l'apprentissage des élèves à l'histoire des sciences, même si elle n'est déclarée réalisable que sur un seul concept opportun au choix de l'enseignant et aussi, peut-on supposer, des sources disponibles.

Ainsi ce même **savoir paléontologique dans le cadre scolaire** peut rencontrer certaines erreurs nécessaires des commencements, peut restituer d' « heureuses » problématiques, et reconstruire partiellement un système explicatif argumentatif sans pour autant suivre l'ordre historique. En histoire des sciences le concept de fossile est passé de la notion de curiosités muséologiques éclectiques à la notion d'archives naturelles de la Terre, permettant la reconstitution d'une géohistoire longue, complexe et contingente (Rudwick, 1997). D'une science naturaliste marginale des échantillons, la paléontologie est passée à une science géologique et historique. Des pratiques de collection et de monographies descriptives illustrées, la paléontologie est passée aux pratiques des études de terrains dans un contexte géognosique et lithostratigraphique. L'identification et la classification des fossiles ont fait place aux reconstitutions géologiques historiques régionales et aux théories de la Terre. La difficulté principale fut l'association d'un ordre structural des terrains à des fossiles caractéristiques. Alors seulement ils purent être considérés comme des archives -ou des « antiquités » naturelles pour reprendre la métaphore historique- permettant de reconstituer des événements passés. La nécessité de rattacher les fossiles aux roches est démontrée par l'Histoire des sciences. Mais dans une perspective didactique comment les élèves pourront-ils aborder cette histoire complexe, imprévisible et singulière à partir d'échantillons fossiles?

3. 4 L'histoire des sciences, laboratoire de l'épistémologie et référent didactique des pratiques

L'histoire des sciences, plus qu'une restitution par archivage, permet une élaboration par analyse de la genèse des idées « L'histoire des sciences n'est pas seulement la mémoire de la science mais aussi le "laboratoire" de l'épistémologie » (Canguilhem⁵², 1988/2000, p. 12). Explicitant son lien avec la didactique et acceptant la complexité d'un savoir construit, cette même position est aussi développée par Giordan qui considère l'histoire des sciences biologiques comme « le laboratoire épistémologique qui permet, avec le recul qu'elle offre

⁵² Canguilhem cite en fait Dijksterhuis, ce qui est rappelé par RUSSO, François, 1984, *Nature et méthode de l'histoire des sciences*, Paris, Albert Blanchard, p. 73

[...] de comprendre les cheminements qui furent ou sont pertinents et ceux qui furent ou qui s'avèrent non pertinents dans tout processus de construction du savoir » (1987, p. 11).

En conséquence la référence aux pratiques des chercheurs, actuels et passés, devient une évidence pour les activités scientifiques qui doivent générer les apprentissages (Orange, 2005b). D'un point de vue épistémologique, la relation entre la pratique de débat scientifique et la construction des savoirs scientifiques partagés tient en partie au processus de problématisation. Et dans le cadre théorique de la problématisation, les spécificités des savoirs scientifiques sont d'être des savoirs problématisés issus d'une activité critique et argumentative sur les faits et les idées explicatives. Cette construction est indissociable d'un espace commun de discussion donc « **le débat scientifique est une condition épistémologique des apprentissages** » (ibid., p. 4). Ainsi Bachelard met en avant le besoin d'une reconstruction incessante d'un savoir scientifique en mouvement, soumis aux dialectiques et aux critiques : « Deux hommes, s'ils veulent s'entendre vraiment, ont dû d'abord se contredire. La vérité est fille de la discussion, non pas fille de la sympathie. [...] La connaissance cohérente est un produit, non pas de la raison architectonique, mais de la raison polémique » (1940/2005, pp. 134 et 139). Le savoir scientifique peut donc être qualifié de « vivant ».

De plus les futurs enseignants de sciences, dans leur cursus scolaires et universitaires, ont été amenés trop rarement à réfléchir sur les pratiques scientifiques, leurs mutations et leurs fondements. La **fonction critique et prospective des sources historiques** accessibles et authentiques apparaît alors fondamentale pour les dépayser des acquis actuels. Cette analyse historique permet de légitimer « une transposition de la pratique et de la pensée scientifique en tâches et savoirs scolaires » dans les prises de décisions orientant les programmes scolaires (Martinand, 1993, p. 93) et aussi, nous semble-t-il, de les réaliser (dans les deux sens du terme, comprendre intellectuellement et accomplir pratiquement) par l'enseignant.

Conclusion Chapitre 3 : Vers une problématique de transposition didactique autour des objets fossiles

Il nous semble prometteur d'articuler, avec toute la prudence requise, les rapprochements ou invariants et les mises à distance ou variations d'un même savoir construit historique et didactique dans une analyse épistémologique commune. S'il a lieu, le cheminement similaire peut être analysé selon différents indicateurs que sont les difficultés de raisonnement, les questionnements et les arguments critiques ayant abouti au sens du progrès de la connaissance. Envisageons ainsi quel est le « **guide du bon usage de l'épistémologie en didactique** » (Chevallard, 1985, p. 19) à **travers deux concepts apportés par les épistémologues, la problématique et l'obstacle**. D'une part la paléontologie par toutes ces

spécificités -science historique, science naturaliste, science explicative par des modèles, science heuristique- nous apparaît être un exceptionnel terrain d'exploration pour ce genre d'enquête. D'autre part l'articulation des cadres théoriques de la problématisation et de l'obstacle, via l'étude des débats scientifiques, se justifie par trois dimensions communes d'apprentissage -constructiviste et non positiviste, sociale et non individuelle, réflexive sur ses propres connaissances mobilisables et non indépendantes des représentations spontanées. Débat, raisonnement et erreurs fonctionnent en synergie pour donner un sens épistémologique à la connaissance scientifique « une expérience qui ne rectifie aucune erreur, qui est platement vraie, sans débat, à quoi sert-elle ? » (Bachelard, 1938/2004, p.13). A la didactique donc de réfléchir aux **savoirs opérants d'une pédagogie dialoguée** « L'école est le modèle le plus élevé de la vie sociale. [...] Il y a là (une dialectique entre maître et disciple) les éléments d'une pédagogie dialoguée dont on ne soupçonne ni la puissance ni la nouveauté si l'on ne prend pas une part active à une cité scientifique » (Bachelard, 1949/2004, p.23). Puisque la construction de la connaissance est indissociable des interactions langagières, c'est donc la convergence de problèmes et d'obstacles, émergents au cours de débats, qui sera questionnée pour analyser plus finement les structures de pensée des systèmes explicatifs respectifs scolaires et historiques et leurs relations. Nombreux ont été les travaux didactiques sur les obstacles épistémologiques depuis Bachelard qui assurait que « la notion d'obstacle épistémologique peut être étudié dans le développement historique de la pensée et dans la pratique de l'éducation » (Bachelard, 1938/2004, p. 19). Or la problématisation s'appuie sur la volonté d'une convergence forte entre les pratiques d'enseignement et les pratiques d'activités de recherche scientifique dont l'histoire des sciences nous apporte des éclairages de référence. Alors qu'en est-il des implications didactiques du rapprochement de l'histoire des sciences pour le concept de problématisation ?

La problématique générale visera donc à mettre en parallèle le cheminement intellectuel historique et les raisonnements possibles des élèves de primaire et de collège lors de la construction du concept de fossile. Leurs interactions sont envisagées : **sous les angles de la problématisation et de l'obstacle comment l'étude des controverses historiques peut-elle guider une transposition didactique raisonnée des débats scolaires ?**

Actuellement le savoir acquis semble avoir effacé sa construction préalable. « La conscience rationnelle du savoir survole la conscience empirique. Elle fixe l'itinéraire le plus court, le plus instructif. » (Bachelard, 1949/2004, p. 14). C'est pourquoi l'enseignant vise généralement les savoirs et non leur construction. Pourtant l'analyse du fonctionnement de la communauté scientifique en pleine émergence du concept de fossile devrait nous permettre d'avoir une grille de lecture raisonnée du fonctionnement d'une communauté scolaire en début d'apprentissage de ce même concept. Deux éclairages, didactique et historique, du passage d'une pensée préscientifique à une pensée rationnelle doivent permettre une confrontation. Les controverses historiques sont révélatrices des grandes questions

scientifiques auxquelles s'est confrontée la communauté scientifique. En conséquence elles sont porteuses d'enjeux épistémologiques en cernant les différentes problématisations construites par les communautés scientifiques. Elles offrent aussi des instantanés historiques d'une dynamique intellectuelle où problématisation et obstacles épistémologiques ont pu interagir. **Outre le débat Buffon-Voltaire rappelé, quelles seraient les autres controverses paléontologiques archivées qui intéresseraient le didacticien ?** Ce seront celles qui permettront non seulement une microanalyse du fonctionnement d'une géoscience « en marche », mais aussi plus particulièrement celles qui se rapprocheront des problèmes et des obstacles décelés en milieu scolaire, et si possible au sujet des fossiles d'invertébrés. De même les débats scolaires, en libérant la parole des élèves, devraient pouvoir révéler les questions qui préoccupent les élèves. Ils sont porteurs d'intérêts didactiques en repérant les conditions de possibilités en classe de primaire et de secondaire pour problématiser la paléontologie. Ils offrent aussi des instantanés d'apprentissage à l'école et au collège en mettant à jour les problématisations possibles en interaction avec des savoirs spontanés révélateurs d'obstacles. **Comment une communauté scolaire discursive, d'élèves de CM ou de 4^{ème}, entre-t-elle en problématisation autour des concepts de fossile et d'histoire des vivants ?** Quels éléments de recherche de solutions en discussion sont-ils capables d'avancer et de corrélés ? Quels repères les élèves se construisent-ils, guidés par l'enseignant, pour différencier des arguments empiriques, des arguments explicatifs, des démarches réflexives et des résultats validés de la science ?

Trois indicateurs épistémologiques devront orienter chaque étude comparative, historique et scolaire : une communauté discursive en désaccord, un problème majeur paléontologique et un obstacle épistémologique. A leur sujet, une mise en relief, des convergences et des divergences historiques et scolaires, devra s'effectuer. En définitive, nous nous proposons **d'interroger les relations entre problèmes, obstacles et savoirs paléontologiques** pour engager véritablement l'apprentissage des élèves. Les prises de paroles en cours de débat scolaire ou de controverse historique peuvent amener les spécificités des sciences paléontologiques –l'historicité, un raisonnement par principes, la réduction d'archives et l'esprit déductif, le poids respectif des contraintes empiriques et théoriques, le temps long-. Comment une idée devient-elle une nécessité dans ces deux champs d'étude ? Quel système d'argumentation déclenche la fissuration d'un obstacle et fait pencher l'impossible vers le possible ? Sous quelles contraintes un modèle explicatif s'impose à la raison et fait pencher le possible vers le nécessaire ?

CHAPITRE 4 : UNE MÉTHODOLOGIE ADAPTÉE D'ÉTUDES DE CAS SCOLAIRES ET HISTORIQUES

En adéquation avec la problématique comparative de la construction de la connaissance paléontologique en débat chez les savants et chez les élèves, voici les grands principes méthodologiques qui ont généré le corpus recueilli et le choix final des données empiriques de cette recherche. Les deux champs d'investigation sont explorés séparément dans un premier temps puis vont être corrélés dans un second temps sur différents critères épistémologiques.

4. 1 Méthodologie en histoire des sciences, des archives réduites

4. 1.1 La nécessité du retour aux sources historiques, l'espoir de textes inédits

Nous avons recherché dans les archives historiques des controverses qui nous permettraient de mieux appréhender les processus de la connaissance et si possible en revenant toujours aux **textes originaux**. Cette rigueur méthodologique est rappelée bien souvent par de nombreux philosophes ou historiens des sciences : « [...] pratiquer une science, pour l'épistémologue, revient à *mimer* la pratique du scientifique en tentant de restituer les gestes productifs de connaissances, par une fréquentation studieuse des textes originaux » (Canguilhem⁵³, 1988, 2000, p. 18). L'importance de cette démarche de recherche est mise en avant pour **éviter toute erreur de lecture ou d'interprétation**. Car alors elle pourrait être perpétuée sur plusieurs siècles par différents auteurs manquant de vigilance et qui n'ont pas vérifié leurs sources. Même d'illustres naturalistes n'y ont pas échappé. « cette désinvolture est de tous les temps. La rude loi : *Nul n'est censé ignorer les textes*, est bien dure à observer. [...] Bernard Palissy a fort mal lu Cardano. Fontenelle a mal lu Palissy, s'il l'a lu. » (Ellenberger, 1988, pp. 323-324). Ce premier exemple d'erreur reconduite fait référence à l'idée d'une origine diluvienne des fossiles, qui devait expliquer la situation des fossiles au sommet des montagnes. Palissy l'affilie à Jérôme Cardan⁵⁴

« il a dit que les coquilles pétrifiées qui étoient esparses par l'univers étoient venues de la mer les jours du déluge, lors que les eaux surmontèrent les plus hautes montagnes, & comme les eaux couvroyent

⁵³ Canguilhem fait référence à l'étude de D. Grmek qui a confronté des cahiers de laboratoire et des carnets de notes de Claude Bernard pour ses recherches toxicologiques. Il rappelle que le scientifique s'efforce de rationaliser a posteriori ses démarches expérimentales. Ce qui relativise l'inductivisme et le positivisme.

⁵⁴ Jérôme Cardan, mathématicien et médecin milanais du XVI^e siècle, a écrit de nombreux ouvrages dont « *De Subtilitate* » paru en 1550 traduit en français. Cf son autobiographie en latin traduite par Dayre, J. (1991). *Cardan 1501-1576 Ma vie*. Paris : Belin.

toute la terre, les poissons de la mer se dilatoyent par tout l'univers, & que la mer estant retirée en ses limites, elle laissa les poissons » (Palissy, 1580/2004, p. 188-189)

Il la qualifie de « faute si lourde », de « sentence et d'opinion » et même irrévérencieusement refuse de « croire une telle bavasse ». Alors qu'en fait, Cardan parle de plusieurs déluges sans corrélation avec les fossiles et non pas d'un Déluge biblique unique. D'ailleurs ce médecin italien contemporain de Palissy n'est pas d'un christianisme convaincu dans ses écrits ce qui fait qu'il sera même accusé d'« athéisme matérialiste » (Ellenberger, 1988, p. 139). Quoi qu'il en soit ce fut une bonne opportunité pour Palissy de défendre son opinion sur la nature organique et dulçaquicole des coquilles pétrifiées trouvées à l'intérieur des terres en Ardennes ou près de Paris. A travers la voix de *Pratique* il argumente contre le Déluge ; d'une part il s'appuie sur le comportement des animaux actuels qui s'accrochent aux rochers ou qui se réfugient dans les grands fond pour éviter la tempête ; et il contre-argumente d'autre part sur le nombre de coquillages vivant dans les rivières, les fontaines, les étangs et les ruisseaux « plusieurs espèces de moules & autres poissons portant coquilles » tout aussi important que ceux vivant dans la mer. Ce développement est important dans ses dialogues (Palissy, 1580/2004, pp. 187-199) et il est surprenant que le second naturaliste fourvoyé, Fontenelle, attribue à Palissy la découverte d'une origine marine des fossiles

« Un Potier de terre, qui ne sçavoit ni Latin, ni Grec, fut le premier, vers la fin du 16^{me}. Siècle, qui osa dire dans Paris, & à la face de tous les Docteurs, que les Coquilles fossiles étoient de véritables Coquilles déposées autrefois par la Mer dans les lieux où elles se trouvoient alors, que des Animaux & sur-tout des Poissons avoient donné aux Pierres figurées toutes leur différentes figures, &c. » (Fontenelle, 1720, pp. 5-6)

Cette seconde erreur de lecture est due au fait que Fontenelle se réfère à un mémoire de l'Académie royale des sciences de Paris de Réaumur qu'il résume en détournant en fait la pensée initiale de l'auteur (1720). Celui-ci loue seulement Palissy pour sa prospection d'un grand nombre de gisement de coquilles fossiles mais signale bien qu'il n'est pas en accord avec toutes ses conjectures

« Il y a plus de cent quarante ans qu'un Auteur François, qui sembloit se faire gloire d'ignorer le Grec & le Latin, a indiqué un grand nombre d'endroits du Royaume où des Coquilles sont ensevelies. Je veux parler de Bernard Palissy, dont je ne voudrois pas adopter toutes les idées, mais dont j'aime extrêmement l'esprit d'observation & la netteté de stile » (Réaumur, 1720, p. 401)

Mais c'est Réaumur, en son nom propre, qui concède l'origine marine des coquilles fossiles de Touraine, malgré toutes les causes inconnues et les questions que cette validation engendre. Et sa conclusion tend même à généraliser l'origine marine des fossiles « Quoi qu'il en soit des causes qui ont contraint la Mer de nous abandonner de si vastes pays, il est certain qu'elle nous a laissé bien des espèces de Coquillages que nous ne pouvons plus retrouver auprès de nos côtes » (ibid., p. 416). Et cette même erreur de lecture –une origine marine des coquilles fossiles affiliée à Palissy- a été reprise par Buffon, De Maillet, D'Holbach et même le méticuleux Guettard (Ellenberger, 1988, p. 136). Alors que la véritable pensée de Palissy était de défendre une pétrification in situ soit marine pour les fossiles des rochers littoraux, soit dulçaquicole pour les fossiles trouvés à l'intérieur des terres. Ces derniers étaient les plus

problématiques, d'autant plus qu'ils constituaient entièrement la montagne ardennaise et que leur origine organique ne faisait aucun doute du fait de leur analogie avec les animaux actuels. Palissy réfute surtout leur origine marine et diluvienne

« Je demande maintenant à celui qui teint l'opinion dudit Cardanus, par quelle porte entra la mer pour apporter lesdites coquilles au dedens des rochers les plus contigus ? [...] Des montaignes desdites Ardennes se trouve par milliers des moules pétrifiées, toutes semblables à celles qui sont vivantes dans la rivière de Meuse qui passent près desdites montaignes [...] il y a eu jusques au plus haut des montaignes, des poissons armés (il entendait par là tout animal aquatique à coquilles) & autres, qui se sont engendrés dedans certains cassars⁵⁵ ou réceptacles d'eau (plus avant il parlait de quelque grand lac), laquelle eau mêlée de terre & d'un sel congélatif & génératif, le tout s'est réduit en pierre avec l'armure du poisson, laquelle est demeurée en sa forme » (Palissy, 1580/2004, p. 196 et p. 194)

De plus dans l'esprit du chercheur en histoire des sciences, il est indéniable que l'espoir est toujours latent de la découverte d'un **texte inédit**, trésor inestimable à ses yeux d'une perle rare manuscrite. « C'est qu'à l'heure actuelle on dispose, en cette matière, de plus de manifestes ou de programmes que d'échantillons. » (Canguilhem, 1988/2000, p. 11). Ainsi notre ambition était-elle, en toute modestie, de pallier cette réduction de l'échantillonnage épistémologique en redécouvrant, voire même en découvrant des morceaux de choix ouvrant une réflexion sur débat et problématisation. Nous espérons qu'ils nous éclaireront sur le rôle qu'ont joué les controverses dans une approche épistémologique en regard de la naissance d'une discipline paléontologique et à son égard. Des outils précieux de méthodologie bibliographique –tables, index, catalogues généraux- ont permis la prospection exhaustive et le croisement des sources imprimées (Godin, 1729-1734 ; Demours, 1747-1786 ; Rozier, 1775-1776 ; Cotte, 1809 ; Levallois, 1926) avec des sources manuscrites (Boinet, 1914 ; Laissus, 1965 ; Popoff, 1993 ; Heurtel & Van Vormhoudt, 1997).

4. 1.2 L'intérêt épistémologique de l'erreur, version rétrospective du progrès

Par contre, revenir aux textes originaux nécessite de **comprendre et non pas de juger la logique de l'erreur conceptuelle**. Nous la contextualiserons dans le cadre épistémique de l'époque pour discerner ses fondements. La tâche de l'historien est ardue et pleine de risques car il doit répondre à un « fait épistémologique spécifique : l'histoire des sciences a toujours à construire son objet, l'objet immédiat qu'elle trouve devant elle étant toujours un objet non-achevé » (S. Bachelard, 1968, p. 48). Entrer sans préjugé dans d'autres modes de raisonnement que les nôtres, se distancier des normes du savoir actuel devenu évident car familier, évitent la lecture d'une histoire exclusivement récurrente : « N'est retenu du passé que ce qui peut être *réactivé* dans le présent vivant de la science. C'est pourquoi tout ce qui

⁵⁵ Cassar : nom ou adjectif ou verbe ; « cassant, fragile, qui se casse facilement ; vient du catalan et portugais *cassar*, ou de l'italien *cassare* ou de l'espagnol *casar* » In Honnorat, S.-J. (1846). *Dictionnaire de la langue d'Oc ancienne et moderne, suivi d'un vocabulaire français-provençal* (p. 432). Dignes.

est erreurs, tâtonnements, impasses, recherches frappées de désintérêt, disons brièvement tout ce qui apparaît comme négatif dans le développement de la science, reste hors examen » (ibid., p. 43). De plus lors de la reconstruction historique la vision d'une histoire progressive avec ses jugements de valeurs est inhérente à l'histoire des sciences : « l'obligation de décrire un progrès est caractéristique pour l'histoire des sciences » (Bachelard, 1951, p. 7) selon l'idée principale d'une rectification des erreurs. Aussi ce progrès de la connaissance ne peut être dissocié de l'erreur tout aussi fondamentale que la validation « l'esprit n'y avance pas en ligne droite (dans la recherche incessante et toujours insatisfaite de la vérité). La route vers la vérité est pleine d'embûches, et parsemée d'erreurs, et les échecs y sont plus fréquents que les succès. Echecs, d'ailleurs, aussi révélateurs et instructifs parfois que les succès. Aussi aurions-nous tort de négliger l'étude des erreurs - c'est à travers elles que l'esprit progresse vers la vérité » (Koyré, 1973, p. 399). En conséquence, en science, dans cette reconstruction épistémologique ramifiée pour révéler le raisonnement passé « on ne peut séparer le résultat du procès qui l'a engendré » (S. Bachelard, 1968, p. 40). Aussi l'intérêt des textes historiques originaux, trésors du développement de la pensée humaine, est de nous permette de comprendre sans jugement de valeur, les errements passés, de déceler leur logique, de reconstituer l'enchaînement d'idées dans le contexte théorique de l'époque. Trouver absurdes ou infantiles les conceptions anciennes induit la norme de l'actuel ce qui est une méthode d'exploration complètement déplacée historiquement.

4. 1.3 L'Histoire des sciences et sa relation aux savoirs actuels, seconde version du progrès

Cette relation aux connaissances actuelles peut être **polémique par rapport à l'actualité scientifique** selon le plaidoyer d'une « vraie histoire historienne des sciences » d'après J. Roger (1995), spécialiste de Buffon et G. Laurent (1997a), spécialiste de Lamarck. Tous deux alertent sur les difficultés qu'ont les « historiens des sciences » de se situer par rapport aux concepts modernes. Alors que la rigueur de l'Historien exige une richesse de pleine intelligence d'un texte qui ne devrait pas réduire l'Histoire, par essence externaliste, à une histoire des scientifiques ou des philosophes ou des sociologues. Le danger de référence à l'actuel réside dans les risques d'incompréhension d'un passé à la lumière d'un présent ignoré à l'époque, dans l'isolement d'un problème selon sa position moderne, et dans le « mythe du progrès linéaire ». Ainsi le concept actuel d'évolution « oblige à poser en termes neufs beaucoup de vieux problèmes : classification, reproduction et hérédité, répartition géographique des espèces, relations des organismes à leur milieu, etc » (Roger, 1995a, p. 48). En ce qui nous concerne, nous pourrions compléter par les problèmes anciens posés en

paléontologie, ceux des fossiles analogues aux vivants actuels, des espèces éteintes, d'un temps long stratigraphié, etc.

Modernité et historicité ne sont pas pour autant antagonistes. Car aussi en tant que géologue, comprendre l'erreur historique peut nécessiter la confrontation de la description des terrains par les naturalistes de l'époque aux mêmes terrains observés aujourd'hui et aux connaissances modernes associées, le temps historique n'étant pas suffisant pour effacer les traces géologiques observées. Car cette analyse additionnelle naturaliste actuelle, si elle est possible, permettra encore d'approfondir le cheminement intellectuel des auteurs et requière la confrontation au terrain géologique et au savoir actuel bien maîtrisé. Elle ne sert pas de principe organisateur de reconstruction historique recherchant à tout prix une filiation conceptuelle, elle constitue un palier nous permettant de mesurer la distance du progrès scientifique. De plus en rétroaction l'histoire des sciences a une action positive sur la pensée scientifique contemporaine. L'actualité de l'histoire des sciences réside dans une culture scientifique « pleine d'enseignement pour la pédagogie » (Bachelard, 1951, p. 15) car enrichie de l'enracinement des problèmes et désignée par ses multiples entraves aux progrès de la connaissance.

Ainsi pour « comprendre le passé dans son originalité irréductible » (Roger, 1995a, p. 51) et en toute objectivité, nous avons bien conscience d'emblée des **difficultés et des limites de notre projet d'une histoire épistémologique des problèmes paléontologiques et du concept de fossile** que nous visons à des fins pédagogiques. En effet nous n'avons pas tout lu ni d'un paléontologiste ni d'une époque, même si nous avons plus approfondi finalement le prolixe et méticuleux J.-E. Guettard ainsi que le siècle des Lumières. La prise en charge des fossiles par l'histoire nous a permis de sélectionner des textes historiques originaux, et si possible nouveaux. Nous avons retenu des instantanés de débats sur l'histoire du passé des êtres vivants selon deux logiques. Soit ils répondent aux critères d'une mise en débat et d'une problématisation autour du concept de fossile, que l'argumentation soit erronée ou non selon nos connaissances actuelles : un dialogue -voire une dispute- est engagé entre plusieurs protagonistes contemporains. Leurs désaccords développent une argumentation étayant la controverse avec explicitation des questions et des problématiques. Soit après un débat de classe, certains textes peuvent offrir un éclairage historique des hypothèses divergentes des naturalistes par comparaison aux hypothèses des élèves sur le même objet d'étude fossile.

4. 2 Méthodologie en didactique, un potentiel important

4. 2.1 Garantie du débat argumentatif dans le système éducatif

Débattre en classe de sciences expérimentales est un sujet de recherche en didactique des sciences (Johsua & Dupin, 1989 et 1993) et c'est aussi devenu un sujet de réflexion sur les pratiques professionnelles (Eveleigh & Tozzi, 2002) cautionnant les programmes officiels de l'école primaire de 2002. Ces réflexions attestent de la place importante du débat argumentatif dans le système éducatif comme une **valeur intellectuelle, sociale et démocratique**. Elles défendent une approche heuristique et collective des savoirs partagés développant un esprit critique en s'opposant à une approche dogmatique. Elles accréditent une démarche de pensée soutenue par la confrontation conviviale d'opinions adverses, préparant l'élève -au statut de futur citoyen- à participer à une société ouverte et pluraliste. Elles seront supportées par des désaccords acceptés et des décentrations opérées. Elles révèlent un champ élargi de pratiques et de multiples possibles pédagogiques éveillant un questionnement problématisant -« Si les dinosaures ont disparu, pourquoi pas nous ? » (ibid., p. 28)-. Cette question d'élève ouvre des perspectives de réflexions sur les fondements des savoirs paléontologiques et sur des questions existentielles en philosophie : tout d'abord sur la contemporanéité des espèces ou non avec l'espèce humaine et les méthodes d'étude, sur la recherche des causes de disparition de certains groupes de vivants, puis sur nos origines, le monde, la vie, l'homme, et notre devenir-. Problématisation, argumentation et questionnement constituent une triade didactique favorisée par les moments de débat en vu d'une conceptualisation en paléontologie. De plus la fécondité des situations-débats intéresse toutes les disciplines et tous les niveaux scolaires du primaire jusqu'à l'université (Legrand⁵⁶, 1988).

4. 2.2 Débat argumentatif et temps de problématisation

Problématiser une connaissance va s'effectuer tout au long d'une séquence pédagogique en construisant progressivement un problème. Mais nous pouvons différencier **deux processus de problématisation, la position et la définition du problème** (Fabre, 1999a). Le premier temps de construction d'un problème nécessite une prise de distance critique des idées spontanées des élèves –explicitation des conceptions, repérage des différences et des incohérences, émergence de premières questions-. C'est la position du problème. Par complémentarité le second temps de construction d'un problème nécessite de recentrer les

⁵⁶ Legrand, M. (1988). Le rapport de la classe à une communauté scientifique. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol 9 (n°3), 365-406.

raisons explorées -choix de questions pertinentes, richesse d'arguments correspondants, repérage des explications possibles ou nécessaires-. C'est la définition du problème. Ces deux temps de problématisation peuvent correspondre à des types de débats différents selon leur place dans la séquence pédagogique. En ce qui nous concerne, deux types de débats scientifiques sont organisés et filmés en classe de primaire et de collège. En corrélation avec notre cadre théorique de la problématisation **le débat peut être vu comme une unité analytique ou synthétique** selon qu'il permet d'exposer le sens des propositions des élèves ou alors qu'il permet de reconstruire de nouvelles propositions. Ainsi soit le débat est induit très en amont de la séquence pédagogique dans une phase de confrontation des conceptions initiales des élèves selon différentes modalités –avant toute observation de fossiles en 4^{ème} de collège car elle doit avoir eu lieu en 5^{ème} au vu des programmes, ou après observation de fossiles en CM1. C'est le premier moment de la problématisation, le positionnement du problème. Cette phase analytique est un travail commun de questionnement des représentations initiales. Objectivées et soumises à la critique elles se distancient d'un mythe personnel. Interrogées sur leurs valeurs dans le sens du possible et du nécessaire, elles ne sont plus référencées par rapport à leur vérité ou leur fausseté mises en suspens provisoirement. La mise en question de la pertinence des liens conceptuels neutralise les « conditions de vérité dans un monde possible » (ibid., p. 60). Les représentations deviennent « les points fixes, les points d'appui du questionnement » (ibid., p. 63). Ou alors le débat est généré très en aval de la séquence pédagogique dans la phase d'investigation, après une récolte de fossiles dans une manière en CM2. C'est le second moment de la problématisation, la détermination de la problématique où la construction du problème peut conduire à une résolution. Mais c'est surtout « la mise en relation des problèmes empiriques à résoudre avec un principe explicatif en vu de produire une construction du modèle de la réalité » (ibid., p. 185). Cette phase synthétique est un travail commun de recherche de solutions permettant de construire des liens cohérents et plausibles entre faits et explications.

4. 2.3 Partir des objets fossiles familiers de l'élève

Entre ces deux bornes de questions scientifiques non résolues à propos du vivant, l'origine de la vie sur Terre et l'origine de l'homme, nous privilégierons les débats autour d'objets fossiles communs à portée des élèves du primaire et du collège parfois même dans leur quotidien. Cette logique de concevoir un enseignement construisant la connaissance à partir du familier, donc pour nous des fossiles connus de l'élève, n'est pas récente. Cette approche du concret, familier et quotidien des élèves était défendue par Ferdinand Péchoux qui adhère à la réforme de 1902 pour l'enseignement des sciences (Gohau, 2002b). Mais cette doctrine pédagogique de la leçon de choses est réduite à une approche empirique. Même si les objets biologiques ou

géologiques gardent leur importance, ils sont devenus le support d'un apprentissage des phénomènes du vivant ou de la Terre. Dans les instructions de 1985 faisant entrer la géologie à l'école primaire : les roches utiles à l'homme, les volcans, les tremblements de terre et les fossiles sont les « réalités concrètes » géologiques à privilégier « pour lui faire découvrir les propriétés et les phénomènes naturels » (MEN, 1985, p. 173)⁵⁷ Mais ce n'est pas pour autant que privilégier le concret, au sens de familier et de global, va rendre la tâche plus facile, d'enseigner et d'atteindre des concepts intégrateurs. Il est nécessaire d'exercer une grande vigilance, en permanence, « pour ne pas confondre le familier avec le simple, et par la suite avec le vrai. » (Langevin, 1926). Le familier est toujours complexe, la simplicité s'acquiert par l'analyse. « [...] on est toujours tenté de confondre ce qui est simple avec ce qui est familier. Ce sont là deux choses très différentes et, malheureusement, en général, opposées. [...] la nature s'ingénie, non sans quelque malice, à nous présenter la réalité par son aspect le plus complexe et qu'un grand effort est nécessaire pour dégager les éléments simples à partir desquels il est possible à notre pensée de reconstruire le monde. » (Langevin, 1964, pp. 205-206). L'intérêt du familier a orienté le choix d'une condition didactique avant tout débat, partir de différents objets fossiles : en CM1, un tri de douze animaux marins fossiles avec leurs analogues actuels si possible (corail fossile/ corail actuel ; oursin fossile/ étoile de mer actuelle ; gryphée, térébratule et rhynchonelle (mollusque et brachiopodes fossiles)/ nautile, moule et praire (mollusques actuels) ; ammonite (fossile) / os de seiche actuel) ; en classe de CM2, quelques fossiles parfois de belle taille (une Gryphée sp. gigantea, un fragment d'ammonite Macrocephalites de la dalle nacrée datant de la période jurassique - époque callovien inférieur, récoltés lors des travaux de terrassement pour agrandir l'école ; l'année antérieure à la 4ème de collège, une sortie géologique au mont Pouilley sur un affleurement calcaire du Jurassique moyen - étage bajocien moyen contenant quelques pectinidés et polypiers-⁵⁸.

4. 2.4 La conception du questionnement initial de l'enseignant pour la genèse d'un débat en classe

Un premier **corpus extensif** est établi par l'échantillonnage de **conceptions initiales** d'élèves de trois classes (CM1, CM2, 4^{ème}). Afin d'ouvrir sur une situation problématisante dans le débat par la suite, le problème initial proposé par l'enseignant doit être un **problème explicatif** ou de mise à l'épreuve d'un concept à l'intérieur d'un paradigme. La maîtrise des

⁵⁷ Ministère de l'Education Nationale, 1991, *Programmes et instructions 1985*, Paris, CNDP-Hachette., Introduction aux Compléments aux programmes et instructions du 15 mai 1985 pour la biologie et la géologie de l'école élémentaire

⁵⁸ Dreyfuss, M. & KUNTZ, G. (coord). (1967). Carte géologique Besançon 1/50 000 XXXIII-23. *Service de la Carte Géologique de la France*, Paris : Ministère de l'industrie et de la recherche-BRGM

problèmes de l'origine, de la nature, de la formation et de la datation des fossiles constitue les objectifs d'enseignement a priori dans le paradigme actuel de l'évolution des vivants. Le temps court didactique ne permet pas de « rendre les élèves capables de maîtriser par eux-mêmes les problèmes d'élaboration théorique des paradigmes » comme celui actuel de l'évolution et « les différents outils construits historiquement par la science normale ne peuvent pas tous être redécouverts par les élèves » (C. Orange, 1997, p. 18). Aussi le choix a porté à décliner en sous-questionnement le problème de preuves actuelles corrélant paléontologie et histoire des vivants. Le choix des questions d'émergence des conceptions initiales des élèves se fait selon deux autres principes.

Un des principes de base est de concevoir des **questions ouvertes** que les élèves vont s'approprier dans un premier temps individuellement : *A ton avis, à quoi sert aujourd'hui l'étude des fossiles ?* (CM1) ; *« Observe, puis dessine et dis comment cet animal vivait avant »* (CM2) ; *« Donne des exemples de fossiles en rappelant ce qu'est un fossile pour toi »* (4^{ème}). La difficulté est d'ouvrir suffisamment pour donner à l'élève la liberté de construire une réponse spécifique mais aussi de fermer quelque peu la question vers la centration du problème scientifique que l'enseignant a anticipé de traiter en classe. Ce qui rejoint la caractéristique des questions les plus stimulantes qui sont « les questions les plus formatrices, celles qui font vraiment réfléchir, ne sont ni trop ouvertes, ni trop fermées » (Maulini, 2005a, p. 40). Même dans les questions semi-ouvertes la difficulté du choix de formulation du questionnement persiste. Car leur conception est toujours tiraillée entre une précision suffisante pour orienter l'élève dans une réflexion et une ouverture nécessaire pour ne pas trop apporter d'informations : ainsi par exemple, en 4^{ème}, la demande de positionner sur une flèche du temps une dizaine d'êtres vivants actuels ou fossiles. Comme les iconographies les présentaient tous en position de vie dans leurs biotopes actuels ou reconstitués l'ambiguïté de la question portait d'emblée sur la signification du positionnement demandé, apparition d'un groupe ou sa durée d'existence sur Terre.

Le second principe de questionnement est la **pluralité de questions**. Elle permet de faire un diagnostic précis des premiers systèmes explicatifs de chaque élève (Crépin-Obert, 2002). Les questions multiples offrent plusieurs situations croisées qui permettent de rechercher comment chaque élève peut s'approprier un problème paléontologique. La stabilité et la cohérence des conceptions globales exprimées sont aussi évaluées. Ainsi lors de la séance préparatoire à la situation de débat, deux questions ont été posées en CM2 -dessin légendé du fossile récolté et dessin en situation de vie de son analogue supposé-, quatre questions ont été posées en CM1 –nature et origine du fossile, diversité des fossiles et utilité pour le géologues- et jusqu'à vingt/vingt-deux questions regroupées dans quatre/cinq problématiques en 4^{ème} de collège. Nous précisons la logique de ces questionnaires dans chacune des études de cas traitées ultérieurement. Cette stratégie force l'élève à enrichir ses réponses, à entrer dans un raisonnement argumentatif et enfin à dévoiler au maximum ses modèles spontanées globaux.

Ceux-ci devraient resurgir dans l'espace collectif du débat et être soumis à la critique du groupe classe.

4. 2.5 L'analyse des productions d'élèves par l'enseignant et la conduite d'un débat

Un **corpus intensif** comprend les séances filmées de trois débats collectifs en classe de cycle 3 (CM1, Besançon et CM2, Grandfontaine) et de 4^{ème} de collège (Pouilley-les-Vignes) ainsi que les traces écrites obtenues dans le déroulement de ces séances.

La préparation du débat a été chaque fois travaillée par l'analyse des productions antérieures individuelles par les élèves (conceptions initiales ou productions d'iconographies - dessins du fossile récolté en parallèle du schéma de l'animal correspondant en situation de vie). Ainsi l'échantillonnage de conceptions initiales a été effectué dans trois autres classes de cycle 3 antérieures à 2004, à partir des questions classiques suivantes «*Qu'est-ce qu'un fossile ? Comment se forme un fossile ?* ». Son examen a permis l'élaboration d'une **grille synthétique et analytique interactive** (Cf. Annexe 1 qui renvoie au tableau des catégories d'obstacles du chapitre 2. 11). Elle est inspirée des premiers travaux en didactique de la géologie pour l'école primaire (Deunff & Lameyre, 1990), et elle propose une catégorisation et une illustration des obstacles repérés à l'apprentissage du concept de fossile. Soit elle fait référence à des obstacles épistémologiques liés à la pensée commune selon l'école bachelardienne : un temps historique, un événement unique, une vision fixiste- prégnance de l'état actuel-, l'absence de frontière entre vivant et non vivant, une métamorphose des êtres vivants passés en êtres vivants actuels –par exemple, un dinosaure, le diplodocus est conçu comme l'ancêtre de la girafe actuelle- (Crépin-Obert, 2002, p.111). Soit elle fait référence à des obstacles psychogénétiques liés au développement de l'individu selon l'école piagétienne : l'animisme et l'artificialisme⁵⁹. Elle a été offerte à chaque enseignant avant sa prestation. Elle constitue un premier repère sur les désaccords susceptibles d'émerger dans leur classe.

Chaque enseignant peut donc analyser les productions individuelles de ses élèves, opérer un choix d'affichage pour lancer la discussion en classe. Mais surtout il peut être rassuré en étant alerté sur la diversité et la fréquence des modes généraux de pensée d'élèves qu'il est susceptible de rencontrer.

⁵⁹ En fait dans un autre sens que Piaget, nous verrons à travers les deux premières études de cas développées dans cette recherche que l'animisme et l'artificialisme sont aussi des obstacles épistémologiques.

4. 3 La rencontre des études de cas historiques et scolaires

4. 3.1 Choix et intérêts des études de cas convergentes

En conséquence pour rendre compte d'un nouveau regard sur cette science il nous paraît souhaitable d'**identifier certains débats convergents** animés par les grandes questions successives qui ont été suscitées par les organismes fossiles; puis de les soumettre au double regard analytique et naturaliste de l'historien et du didacticien. Quatre études de cas ont été arrêtées car elles présentaient une convergence intéressante à la fois d'une problématique scientifique et d'un obstacle épistémologique associé dans un contexte historique et dans un cadre scolaire. Nous allons donc tout d'abord étudier le problème de l'origine des fossiles, selon deux études de cas proposant une explication erronée soit par artificialisme soit par animisme d'une végétation spontanée. Le contraste entre les qualités argumentatives des temps différents d'un même débat scolaire motive aussi notre choix. La richesse de l'environnement conceptuel au siècle des Lumières à propos des fossiles, son illustration par des textes inédits -manuscrit du XVIII^e siècle et un texte institutionnel du XVII^e siècle-, les diverses manifestations captivantes de résurgence historique des obstacles qui a maintenu le doute sur ce problème « insoluble » jusqu'au XVIII^e siècle, constitue le second axe de sélection. Puis nous allons examiner le problème de l'identité d'un fossile et la mise en histoire des vivants sur Terre. Tout autre est l'intérêt double ici aussi : d'une part décliner par deux niveaux de problématisation l'apprentissage de la paléontologie au primaire et au secondaire et d'autre part envisager au niveau historique un véritable débat scientifique animant le XIX^e siècle. Il s'avère que tous les morceaux choisis portent la réflexion sur les coquilles fossiles comme nous l'avions souhaité. Sauf le dernier extrait du XIX^e siècle qui porte la réflexion sur des fossiles problématiques de vertébrés. Les raisons de sa prise en compte maintenue sont la convergence de problématique et la considération d'un véritable débat scientifique entre des théories contemporaines qui surpassent le critère de sélection opérée préférentiellement sur les objets fossiles invertébrés.

4. 3.2 Une méthodologie commune d'analyse des corpus historique et scolaire dans le cadre théorique de la problématisation

Le cadre didactique de la problématisation sert de référent premier. Le concept didactique est celui d'**espace-problème** (Fabre & Orange, 1997) inspiré de la psychologie cognitive à propos de la représentation du problème par un sujet novice. Ainsi « construire un problème c'est inventer et structurer un espace » (Fabre, 1999a, p. 197) dans lequel peut s'exprimer et s'articuler un réseau de propositions des élèves lors d'un débat scientifique organisé dans la

classe. Le processus complet de la problématisation peut être élaboré en trois temps complémentaires – **la position, la construction et la résolution d'un problème**- (ibid., p. 176). Des mouvements d'analyse et de synthèse construisent des raisons à la recherche d'une solution. La différenciation entre la construction d'un problème et la résolution d'un problème n'est pas évidente car en rappelant Canguilhem⁶⁰ « le problème n'est véritablement bien posé qu'une fois résolu » (ibid., p. 182). C'est donc le processus de recherche raisonnée de solutions qui doit être mis en mouvement dans une dynamique d'apprentissages. Le dernier axe, la résolution de problème, pris isolément dans les situations d'enseignement, court-circuite l'appropriation et la reconstruction des problèmes par les élèves comme nous l'avons présenté antérieurement. Or la phase de détermination, ou positionnement du problème par le groupe classe, est une étape fondamentale et nécessaire, antérieure à la résolution du problème. Nous avons fait le choix de tester son élaboration lors de la confrontation des conceptions initiales hétérogènes ou de la confrontation de ces conceptions à des objets fossiles régionaux. Le temps du débat est suffisant pour que les différentes hypothèses proposées par les élèves et leurs conséquences soient examinées attentivement par le groupe classe, étape importante du traitement du problème selon Dewey (Fabre, 1993, pp. 88-89). Pour l'essentiel les élèves entrent en raison.

Le concept d'espace-problème a préparé celui plus resserré **d'espace de contraintes** (Orange, 1999) sur lequel nous allons travailler préférentiellement, qui marginalise les possibles et se focalise sur la construction d'un problème. Il retient le **caractère apodictique** des savoirs, caractère lié aux raisons construites lors de la problématisation, d'où sa dénomination d'espace de contraintes : « Les savoirs scientifiques ne sont pas de simples propositions vérifiées, des résultats : ce sont des conclusions, des réponses à des questions bien posées. C'est la relation problème-solution qui leur donne tout leur sens en les impliquant dans un réseau de raisons. Ils échappent ainsi à la contingence des connaissances factuelles et prennent un certain caractère de nécessité. » (Orange, 2002, p. 30). Cette valorisation de la spécificité du savoir scientifique répond à l'école philosophique bachelardienne. Et comprendre l'émergence d'une nécessité pour la construction d'un savoir scientifique passe par l'étude d'un cheminement intellectuel complexe « Le caractère apodictique ne se décrète pas. Il n'est pas un fait d'autorité. Il faut le suivre dans son essentielle discursivité » (Bachelard, 1949/2004, p.11). C'est pourquoi l'étude des interactions argumentatives est essentielle. L'intérêt est de **représenter la dynamique des échanges langagiers des élèves entre un registre empirique et un registre des modèles explicatifs**, bipolarité spécifique d'un apprentissage scientifique. Là encore, cette construction schématique est fortement inspirée de la philosophie bachelardienne présentant deux pôles philosophiques de la pensée scientifique, le concret et l'abstrait, les choses et l'esprit, autrement dit l'empirisme et le

⁶⁰ Canguilhem, G. (1955). *La formation du concept de réflexe aux XVII^e et XVIII^e siècles*. Paris : PUF.

rationalisme. Cette **dualité de de l'esprit scientifique est représentée** en s'inspirant des travaux sur la modélisation de J.-L. Martinand. Celui-ci propose un schéma réflexif de la modélisation concernant les questions didactiques (1994, p. 119). Deux pôles complémentaires sont essentiels à différencier pour cette élaboration conceptuelle, **un référent empirique en cohérence avec des modèles construits, transformés, utilisés et mis à l'épreuve d'un problème**. La familiarisation et l'objectivation des objets et des phénomènes interagissent avec la conceptualisation. Par cette approche l'enseignement et l'apprentissage d'une modélisation sont qualifiés d'authentiques, car elle est « non plus seulement vécue en actes, mais conçue et critiquée » (ibid., p. 121). Le lien entre modélisation et problématisation a favorisé son transfert à l'école primaire sur les concepts de nutrition en biologie (Orange, 1997) puis de volcanisme en géologie (Orange, 2001) en l'enrichissant d'une troisième dimension, le registre explicatif ou cadre épistémique. D'une part **la représentation en espace de contrainte a comme intérêt** de mettre en valeur la construction d'un raisonnement par les élèves en le situant sur ces deux pôles. Ceux-ci mobilisent des faits empiriques dont certaines données paléontologiques et ils les mettent en corrélation avec des explications théoriques. D'autre part l'espace de contraintes a comme second intérêt des temps de dialectique très forte entre les idées et les expériences. Ce sont ces **misés en tension** entre un registre empirique et un registre des modèles qui permettent fondamentalement d'accéder au progrès de la connaissance : « pas de rationalité à vide, pas d'empirisme décousu » mais une position et une résolution de problèmes bien définis dans « un rationalisme appliqué » où l'invention est rationnelle, conjugué à « un matérialisme instruit » où l'expérience est réfléchie (Bachelard, 1949/2004, pp. 3-4). En définitive elle allie ces deux spécificités de la construction de la connaissance : « Le philosophe qui voudra suivre en détail la vie de la pensée scientifique connaîtra les extraordinaires couplages de la Nécessité et de la Dialectique » (ibid., p.11).

Concernant plus spécifiquement les débats scolaires, notons que les **interventions du professeur** ainsi que leurs synergies avec les interventions langagières des élèves ne seront pas analysées en définitive dans notre étude. C'est une **réduction du corpus** qui est effectuée. Le professeur s'est défini un rôle principal d'empathie dans la prise en compte de toutes les propositions du plus grand nombre d'élèves souhaité dans la participation au débat. Un travail de longue haleine dans toutes les disciplines est mené par ailleurs pour assurer une écoute permanente de la part du maître, pour générer un climat de confiance dans le respect d'autrui au sein de la classe entre pairs. La conséquence principale est de libérer la prise de parole de chacun des élèves qui ne craignent plus de se tromper et qui peuvent se décentrer de leur propre point de vue. L'enseignant s'efforce, dans ses prises de décisions lors du débat, d'accepter au même niveau de bienveillance les arguments, erronés ou validés par la communauté scientifique. Aucune validation consciente n'est décidée a priori dans sa pratique de guidage du débat, elle sera différée et construite ultérieurement dans les autres phases

d'investigation de la séquence car l'enseignant se doit d'être garant du savoir scientifique construit au final (Annexe 2). Les compétences des enseignants sont multiples (Schneeberger, 2002). Et elles ont fait l'objet d'une étude dans le cadre théorique de la problématisation sur le même débat à propos des fossiles en cycle 3 de l'école primaire (Crépin-Obert, 2005) et sur un débat à propos du concept de vivant en cycle 2 (Crépin-Obert, 2007a). Les interactions langagières enseignantes ont été répertoriées en treize items démontrant la richesse d'actes professionnels opérés par l'enseignant dans le pilotage d'un débat. La passation de parole à un grand nombre d'élèves, la reformulation des propositions de ces élèves, le questionnement orienté de l'enseignant sont majoritaires parmi les fonctions didactiques différentes des interventions enseignantes, de la plus neutre à la plus engagée pour guider le débat. Elles feront l'objet de recherches ultérieures plus approfondies car leur rôle est loin d'être négligeable dans la co-construction du problème par les élèves.

Ces schématisations de référence, macrostructure de l'espace dproblème ou espace de contraintes, ont le mérite de porter sur des **démarches comparables quel que soit le niveau d'enseignement et les disciplines**, et aussi sur des compétences scientifiques convergentes. La modélisation via la problématisation peut donc participer à une éducation scientifique transférable de l'école au lycée. Elle peut aussi être un procédé pertinent pour comparer les savoirs des élèves et ceux des scientifiques comme cela a été démontré en biologie sur le concept de milieu intérieur par Claude Bernard (Orange, 2003b). Dans la mesure où nous voulons comparer des débats scolaires et des débats historiques, les outils didactiques de la problématisation en sciences se prêtent bien à une transposition de la méthode d'analyse sur les débats historiques. C'est pourquoi nous privilégierons les espaces de contraintes comme outil comparatif entre le raisonnement des savants et celui des élèves portant sur la même problématique en paléontologie. Deux autres niveaux d'analyse didactique complètent cet axe principal, l'argumentation et le questionnement.

4. 3.3 Une méthodologie commune d'analyse des corpus historique et scolaire dans le cadre théorique de l'argumentation

Concernant l'analyse du corpus des débats scientifiques scolaires, une évolution est marquée par trois phases, initiée par l'espace-problème, en passant par l'espace de contraintes, elle est développée actuellement en espace de négociations argumentatif. . En effet la pratique argumentative est un outil puissant heuristique pour l'apprentissage en sciences. Aussi chaque espace-problème comprend aussi un **espace d'argumentation par les controverses émergentes** lors d'un débat scientifique. Ce sont des « nœuds caractérisés par une intense activité argumentative » (Fabre, 1999a, p. 201). Le coefficient de problématisation est plus élevé au niveau de ces « nœuds argumentatifs ». Car argumenter sous-entend de convaincre

un interlocuteur, voire de lui faire changer d'opinion. Ce qui peut engager fortement les protagonistes dans l'ouverture à la discussion, au débat ou à la controverse. Celle-ci correspond à un « modèle dialogal » qui a l'avantage de créer le besoin d'explicitier un **raisonnement symétrique** car « cette situation interactionnelle oblige l'**interlocuteur** à argumenter, c'est-à-dire à développer un discours de justification. [...] et l'**opposant** doit, de son côté, justifier ses réserves, en développant ses bonnes raisons de douter (Plantin, 2005, p. 53) ». Ainsi l'argumentation dans le débat scientifique scolaire peut être aussi considérée comme une **co-construction d'interactions langagières** entre pairs. L'argumentation critique développée joue un rôle primordial dans la **négociation des significations et de ce qui fait preuve**. Combien de significations et de polysémie sous le terme de fossile, combien de signifiants pour ces mêmes objets fossiles ! Ces interactions argumentatives dépassent les « simples échanges intersubjectifs » des conflits socio-cognitifs (Fillon & al., 2004, p.205). Ces temps forts argumentatifs d'une communauté discursive peuvent être analysés selon les travaux sur la logique argumentative de C. Plantin (2005) et de ses liens avec la problématisation (Orange, 2003a, pp. 96-97). L'intérêt est de pouvoir cerner isolément certaines logiques explicatives d'élève, en nous référant à un **modèle de cohérence argumentative** –celui de Toulmin (Plantin, 2005, p. 20)- tout en gardant nos référents théoriques de la problématisation. De plus la structure d'analyse de Toulmin, par son ouverture à la probabilité et à la réfutation, admet la confrontation de points de vue contraires donc la controverse. La structure de toute argumentation aboutit à une déduction qui est basée sur des données, des garanties et des fondements. La déduction probable ou la conclusion nécessaire peut être soumise à la réfutation. Pour expliciter ce passage de l'empirique à l'explicatif, le raisonnement cognitif -possible ou nécessaire- peut coïncider avec une argumentation discursive. La rationalité scientifique peut être affiliée à la logique formelle. Des difficultés d'analyse argumentative sont anticipées. Dans le cas des controverses les deux camps développent des arguments et la divergence peut se situer à tout niveau d'argumentation tel les données, les fondements, l'interprétation des conclusions etc. De plus toutes les catégories ne sont pas explicitées en cours de débat, les garanties et les fondements sont le plus souvent implicites et interprétés par le chercheur (Orange, 2003a). Enfin les déplacements énonciatifs et cognitifs que permet le débat argumentatif sont multiples. D'un côté les obstacles épistémologiques émergents, les assertions, les généralisations excessives, les arguments d'autorité et l'expérience quotidienne sont partagés et discutés. D'un autre côté les positions énonciatives pertinentes, consensuelles ou concurrentes, orientent une problématisation explorant un champ de possibles et de raisons nécessaires.

4. 3.4 Une méthodologie commune d'analyse des corpus historique et scolaire dans le cadre théorique du problématique et du questionnement

Si problématiser c'est construire des raisons, alors cette construction intellectuelle par les élèves ne peut se faire sans la mise en œuvre d'un champ de questionnement. Chaque débat peut être considéré alors comme un « **espace logique de l'interrogation** »⁶¹ (Maulini, 2005a, pp. 132-135). La circulation de parole entre enseignant interrogateur et élèves questionneurs est équilibrée par l'intérêt d'une zone d'incertitude partagée, sans doute absolu ni curiosité illimitée. Ce débat peut être enrichi par un ensemble de questions explicites soulevées par les élèves, s'appropriant à leur manière le questionnement initial de l'enseignant. Ainsi le pouvoir de questionner peut être dévolu à l'élève et ne pas rester le privilège de l'enseignant qui s'essaye à toute une variété de questions essentiellement magistrales présentant un degré versatile d'ouverture et de fermeture (ibid., p. 39). Une critique de ce dialogue coutumier, artificiel et asymétrique « Du point de vue du savoir, il (l'élève) n'apprend pas à raisonner. Du point de vue du pouvoir, on (l'enseignant ou l'institution) lui enseigne à se conformer » (ibid., p. 50) peut être levée dans les situations débats, espace de parole plus grand offert aux élèves. La recherche de raisons lors de la problématisation s'accompagne de l'émergence de questions devenues légitimes pour les élèves : « problématiser, c'est discuter en amont pour soulever ou poser la question conjointement valorisée » (Maulini, 2005b, p. 27). Dans ce cas, il peut être intéressant de comprendre ce déplacement entre le questionnement enseignant et le questionnement des élèves et de mesurer son écart ainsi que le rôle de l'interaction vers un « questionnement optimal ». Cette démarche rejoint l'idée de la nécessité de problématiser en positionnant le problème dans la classe, et en ne forçant pas d'emblée la résolution par « des problèmes sémantiquement pauvres (n'engageant pas de connaissance des domaines), décontextualisés, fermés et déjà construits par le maître » (Fabre, 1999a, p. 27). Le jeu de questions-réponses est remplacé par un véritable dialogue dans l'alternance problèmes-raisons. Ainsi pourra s'épanouir cette « révolution épistémologique », qui met l'élève en mouvement d'apprentissage par son propre questionnement, révolution amorcée par Rousseau (Maulini, 2005a, p. 57).

L'étude du fonctionnement des débats collectifs en classe, via le développement de raisons nécessaires, d'argumentations et de questionnement pertinent, présente une **limite au protocole de recherche**. Elle permet de constater et d'explorer ce qui est en jeu dans les apprentissages en relation avec ces trois domaines. Mais ce type de situation d'enseignement

⁶¹ Le terme de problématisation employé par O. Maulini a un sens plus restreint que celui pris dans notre cadre théorique. Selon lui, si une proposition est instituée et une question mise en discussion, le moment de la problématisation est ce temps aboutissant au partage du problème. Il est séparé du temps de la résolution du problème. Alors que ce temps de partage du problème correspondrait dans notre cadre théorique au positionnement du problème.

ne permet pas une évaluation individuelle des apprentissages. La situation débat forcément collective permet d'être analysée du point de vue des interactions langagières et de leur richesse épistémologique révélée. Quelques évaluations individuelles peuvent porter sur le suivi de certains élèves qui se sont mobilisés à plusieurs reprises dans le débat, et peuvent permettre de mesurer l'écart -ou non- entre leurs propositions ; ou alors en suivi tout au long de la séquence de classe et en différé du débat de classe, les évaluations individuelles finales du projet peuvent révéler des acquisitions ou des changements conceptuels chez certains élèves, sans pour autant pouvoir mesurer l'impact du débat sur l'acquisition des connaissances. C'est une autre piste de travail de recherche. Le débat, dans un consensus des pratiques et des disciplines, apparaît « par l'organisation des conflits sociocognitifs régulés, comme une situation favorisant la capacité d'apprendre » (Eveleigh & Tozzi, 2002, p. 32). Reste à l'évaluer selon un protocole de validation pour chaque élève de la classe participant au débat.

4. 3.5 La logique de l'erreur, l'obstacle et la problématisation

De cette double approche, historique et didactique, nous considérons que la connaissance est une « co-crédation continue de l'ignorance et du savoir » (Molino & Laserna Pinzon, 1996, p. 26). Nous pouvons accorder aussi à l'erreur une utilité pédagogique « en montrant les chemins qui ont écarté du vrai elle (l'histoire de nos erreurs) nous a facilité la recherche du véritable sentier qui y conduit » (D'Alembert, an 13, Tome II, p. 15)⁶². Mais au-delà du vrai et du faux c'est essentiellement comprendre comment s'est construit un réseau de raisons, nécessités dans un champ de possibles en classe. Ainsi **le concept d'obstacle très usité en didactique** permet une étude comparative pertinente avec l'histoire des sciences (Orange, 1993b). L'obstacle bachelardien et l'obstacle en didactique ont comme point commun d'être considérés comme une connaissance antérieure non problématisée – accumulant des éléments ponctuels mal corrélés- et non questionnée –allant trop hâtivement vers une généralisation-. Par contre l'obstacle en didactique engage à une analyse rationnelle qui se détache des repères symboliques –affectifs, mythiques, instinctifs- affiliés aussi à l'obstacle bachelardien. La valeur diagnostique et critique de ce dernier est indéniable en alertant sur un raisonnement cohérent, résistant et récurrent. Elle peut aider à rendre opérationnel l'obstacle émergent en classe en termes d'objectifs, de problématiques et de schémas de raisonnement incontournables dans l'enseignement. Ainsi peut-on chercher à établir la comparaison entre des grands types d'**obstacles épistémologiques** révélés par l'histoire **et leur équivalent pédagogique**. Cette dimension épistémologique bachelardienne est primordiale car « les

⁶² (1805). Essais sur les éléments de la philosophie in *Œuvres Philosophiques historiques et littéraires –Essai sur les éléments de philosophie ou sur les principes des connaissances humaines*. Paris : J.-F.Bastien.

errances de l'apprentissage ne s'avèrent lisibles qu'en référence aux errements de la formation du savoir tels qu'on peut les repérer dans l'histoire de sciences » (Fabre, 1999a, p. 159) engageant ainsi l'erreur dans une normalité, une généralité, une résistance et une récurrence.

Conclusion Chapitre 4 Des choix méthodologiques orientant la recherche ciblée sur la problématisation

Selon les axes spécifiques de la connaissance historique et des apprentissages scolaires, des questions avaient été soulevées en relation avec les différents niveaux de problématisation possibles et les différentes compétences développées. Lors de la genèse du concept de fossile, **des problématisations historiques et scolaires** vont être mises en lumière à travers des controverses historiques ou des débats scolaires construisant les problèmes de l'origine des fossiles, de leur nature et de leur mise en histoire. Le débat peut être un révélateur des points critiques de rupture aux savoirs paléontologiques. **En parallèle des obstacles épistémologiques** sont en cours de franchissement révélés par ces communautés discursives, l'artificialisme, l'animisme et l'analogisme. Selon un axe comparatif, historique et didactique, des outils méthodologiques appartenant au cadre théorique de la problématisation seront privilégiés et mis à l'épreuve dans les deux champs d'investigation. Des espaces-problèmes cadrent l'enchaînement du questionnement, des réponses et des objections. Des espaces de contrainte et de possibles cadrent les développements argumentatifs, souvent symétriques par désaccord des protagonistes. La convergence marquée de problèmes et d'obstacles, en histoire de la paléontologie et en classe de primaire et de collège, va permettre de prendre des repères didactiques. Quels **apprentissages spécifiques** sont susceptibles d'être développés chez des élèves de 10 et 13 ans lors d'une problématisation sur l'origine, la nature et l'identité des fossiles en primaire et sur la mise en histoire des vivants en 4^{ème} de collège ? In fine quelles raisons possibles ou nécessaires, appuyées par quels questionnements et quelles argumentations, sont mises en jeu lors d'un débat « scientifique » scolaire par rapport à une controverse historique ?

CONCLUSION partie 1

Dans cette première partie nous venons de poser **des choix théoriques épistémologiques en lien avec des objectifs d'apprentissages qui guident notre problématique**, problématisations, obstacles épistémologiques, interactions langagières des controverses. Car un savoir paléontologique s'est construit par problématiques périmées et par obstacles sanctionnés actuellement, explicités lors des interactions verbales ou écrites au sein d'une communauté scientifique. Epistémologiquement, ce savoir acquiert **un sens en trois dimensions, sa genèse historique, sa construction systémique et sa vie sociale**. La genèse historique du savoir paléontologique relate ses interprétations balbutiantes -jeux de hasard, pierres figurées, curiosités de la nature, végétations spontanées, productions marines anciennes, espèces éteintes analogues-. Elle accède aux problématiques successives passées - nature, origine, corrélation avec les vivants actuels, datation relative paléontologique des couches, biostratigraphie-. Ce fondement de vivant passé, témoin d'un paléomilieu parfois très différent de l'actuel, ne sera vraiment compris et accepté que très tardivement. La construction systémique du savoir paléontologique peut être révélée dans le cadre théorique principal de la problématisation ou construction de problèmes en sciences, qui sont des problèmes explicatifs présentant un caractère apodictique, c'est-à-dire un caractère de nécessité. Et cette nécessité tardive construite d'ancien être vivant indicateur d'un temps long n'aura pu être intégrée dans un système évolutif qu'en corrélant de nombreux éléments empiriques à différents modèles explicatifs et référents théoriques. La nature des roches fossilifères, leur stratification, leur datation relative, leur répartition spatiale, leur paléoenvironnement associés à la variabilité des formes vivantes passées et actuelles sont interprétés à la lecture de cadre actualiste ou catastrophiste en géologie ou de cadre uniformitarisme ou transformiste en biologie. Ainsi les collections fossiles permettent d'une part de modéliser les anciennes répartitions des mers et des terres, et d'autre part de mettre en histoire la succession des êtres vivants sur Terre sur une profondeur des temps géologiques. La vie sociale s'exprime en partie par des pratiques de référence, le débat ou la controverse scientifique, moments privilégiés qualifiés parfois comme les « moteurs de la science » et situations favorables aux apprentissages scientifiques. La paléontologie est d'ailleurs toujours engagée dans de nouvelles problématiques mises en débat par l'actualité scientifique : la phylogenèse et la nouvelle place accordée aux fossiles dans les arbres phylogénétiques, les mécanismes évolutifs continus ou discontinus et les séries paléontologiques, ou même le « dessein intelligent » en opposition au paradigme évolutionniste. Obstacles épistémologiques ou nécessités scientifiques peuvent être au cœur des controverses paléontologiques en histoire des sciences comme en classe. En conséquence cette étude s'est attachée essentiellement à

repérer les interactions possibles entre les deux domaines et à valoriser les éléments signifiants au service de l'apprentissage des élèves. C'est une recherche de signification (Astolfi, 1993) au niveau du sens des apprentissages scolaires et du processus de conceptualisation en histoire des sciences. Par la mise en relation de ces deux domaines historiques et scolaires, des repères nouveaux et féconds sur les spécificités et les conditions de possibilités de la construction d'un savoir paléontologique sont attendus.

La prospective méthodologique d'une part veut se limiter à des objets d'études révélateurs d'une Science en « marche », en train de se faire. C'est donc un processus dynamique qui a été recherché dans des espaces de discussions institutionnels (comptes-rendus de l'Académie des Sciences élargis à différentes correspondances et publications d'académiciens et autres savants) et dans des espaces de discussions scolaires qu'il nous fallait envisager en parallèle. L'enquête historique nous a menés à traverser quatre siècles d'histoire scientifique du XVI^e au XIX^e. Elle a permis de déceler des controverses passionnantes dont certaines originales. Les expérimentations pédagogiques ont été réalisées dans une dizaine de classes de primaire et de collège. Dans cette prospection la méthodologie comparative a pointé trois classes qui présentaient une convergence globale d'obstacles et de problématiques avec l'histoire des sciences. Des élèves « ordinaires » de CM1, CM2 et 4^{ème} de collège ont développé une argumentation suffisamment riche pour présenter un intérêt didactique du point de vue de la problématisation. Problèmes et obstacles convergents sont liés aux premiers apprentissages scolaires de la paléontologie et liés à la naissance de cette discipline. Historiquement elle fut associée tout d'abord à l'anatomie comparée par Cuvier en 1802, puis véritablement instituée par Alcide d'Orbigny en 1853, premier titulaire de la chaire de paléontologie du Muséum d'histoire naturelle de Paris.

Les trois parties suivantes de la recherche exploreront **trois études de cas de débats scolaires comparées à trois études de cas de controverses historiques** afin de cerner les différentes caractéristiques des problématisations scientifiques liés à la paléontologie. La comparaison verticale des controverses portant sur le même objet conceptuel de fossile, entre les élèves novices guidés par l'enseignant et les experts d'une époque historique donnée, permettra de mesurer l'écart des problématiques et des obstacles à première vue similaires. L'expertise peut être élargie au savoir problématisé actuel, transposé et enseigné. Nous parcourrons **quatre grandes problématiques**, l'origine des fossiles, la nature des fossiles, l'identification des fossiles par rapport aux vivants actuels, et la mise en histoire des vivants sur Terre. Elles sont associées à **trois obstacles épistémologiques**, l'artificialisme, l'animisme par végétation spontanée et l'« analogisme » que nous proposons. Les contextualisations savantes et didactiques de situations-débats seront précisées : cadre théorique et registre empirique d'une communauté savante d'une part, objectifs et organisation de la séquence d'enseignement d'autre part. La recherche veut aller au-delà de ces pré-requis généraux et redondants d'un parallélisme sans isomorphisme entre l'histoire d'un concept et son enseignement (Chevallard

& Johsua, 1982)⁶³. Elle vise à comparer les conditions de possibilités d'accès à un savoir problématisé qui tiennent compte des conceptions des protagonistes –apprenants ou savants- et des obstacles récurrents. Dans notre cadre théorique **une controverse scientifique peut être considérée comme un espace à quatre dimensions, un espace-problème, un espace de contraintes et de possibles, un espace d'argumentation et un espace de questionnement**. Chaque espace étant défini et analysé par des indicateurs précis. L'espace-problème est décliné par des questions, des réponses et des objections -parfois concurrentes- structurant un système de problèmes, enchaînement d'une problématique. L'espace de contraintes et de possibles est décliné par un registre phénoménologique ou empirique et un registre des modèles explicatifs mis en tension. L'espace d'argumentation est décliné par l'architecture causale de fait, de loi, de conclusion, de garantie et de fondement. Et enfin l'espace de questionnement est décliné par le degré d'ouverture et de fermeture des questions d'élèves, d'enseignants ou de savants.

Rappelons notre problématique centrale orientée par notre choix méthodologique : **quelles raisons ou arguments organisés dans différents registres –un registre empirique et un registre des modèles explicatif- sont entrés en conflit, conflit favorisé dans les communautés discursives, telles les situations de débats en classe et les controverses historiques ?** Cette problématique porte sur les problématisations possibles en paléontologie par des élèves de cycle 3 et des élèves de 4^{ème} via des situations-débat d'enseignement-apprentissage en regard des problématisations vécues en histoire des sciences. Dans la mesure où nous travaillons sur une pensée commune préscientifique de part et d'autre, la rencontre entre les deux domaines devait être possible par le biais des problèmes et des obstacles. Ainsi, du point de vue méthodologique, la conception de séquences en classe et la prospection historique se sont faites en parallèle, et indépendamment l'une de l'autre. Puis, c'est le repérage des problèmes et des obstacles émergents en classe qui a orienté le choix des controverses historiques. C'est pourquoi, dans les trois études de cas qui vont suivre, l'approche didactique précède l'approche historique.

⁶³ Chevallard, Y. & Johsua, M.-A. (1982). Un exemple d'analyse de la transposition didactique, *Recherches en Didactique des mathématiques*, vol. 3.(n° 2), 157-232

DEUXIÈME PARTIE : PREMIÈRE ÉTUDE COMPARATIVE, LE PROBLÈME DE L'ORIGINE DES FOSSILES ET L'ARTIFICIALISME

CHAPITRE 5 : ÉTUDE DE CAS EN CM1, ÉPISODE SUR LA FABRICATION DES FOSSILES

De nombreuses situations didactiques ont été explorées pour initier un travail de réflexion paléontologique chez les élèves afin de rendre les questions d'enseignant opérantes, dont certaines sont inspirées d'un problème scientifique historique comme « D'où viennent les coquilles » (Cholley 1992 ; Deunff & Sabourdy, 1994 ; Sauvageot-Skibine, 1995, pp. 142-146, Laperrière-Tacussel, 2002). La dévolution du problème de l'enseignant n'est pas évidente, certaines situations de départ menant à des impasses didactiques. Mais la nécessité d'aiguiser la curiosité des élèves par une énigme, l'importance de les impliquer dans un véritable problème à résoudre en regard du franchissement possible d'un obstacle, le besoin de leur faire formuler leurs propres hypothèses et conjectures dans une situation accessible mais suffisamment résistante, sont à nouveau déclinés. Voici donc rappelées les conditions didactiques essentielles parmi les douze points cernés pour définir une situation-problème favorisant l'apprentissage en géologie (Sauvageot-Skibine, 1995). Sans pour autant omettre l'environnement didactique décliné ci-dessus, nous allons opérer la **centration d'une séquence pédagogique sur la problématisation en cours de débat**. C'est une alternative, par rapport aux autres commandes d'apprentissage déjà mises à l'épreuve dans l'apprentissage de la géologie –l'exploitation d'une situation environnementale, un affleurement anticlinal dans le paysage ; l'acquisition d'un savoir, la sédimentation ; la maîtrise d'une méthode, le classement de roches par leurs propriétés ; le franchissement d'un obstacle, lors de la mise en histoire d'une falaise fossilifère- (Astolfi, 1991). Nous considérons que la dynamique du processus d'apprentissage entre la situation-problème anticipée par l'enseignant et la solution visée, aurait comme moteur fondamental d'apprentissage, la co-construction et reconstruction du problème par les élèves « Ce processus transforme un problème perçu en un problème construit ou, plus généralement en un ensemble articulés de problèmes construits (problématique) » (Fabre & Orange, 1997, p. 38). Voyons comment la forme dialogale de conduite de classe peut comprendre aussi une structure dialogique, la classe pouvant être lieu de débat scientifique (Astolfi, Peterfalvi & Vérin, 1998, p. 33). Voyons quels sont les possibles didactiques lors d'un débat en classe qui engage la transformation des explications spontanées d'élèves de CM1 par la construction des

raisons, via l'explicitation, l'argumentation et la clarification des questions en sciences paléontologiques.

5. 1 Place didactique de ce débat dans la séquence d'enseignement, présentation de l'étude de cas

5. 1.1 Conception de la séquence globale d'enseignement de la paléontologie

Le débat repéré s'inscrit dans une séquence sur la paléontologie menée dans une classe de CM1 par un professeur des écoles, maître formateur⁶⁴, en mai 2005. Cette séquence comprend quatre phases en référence au canevas de séquence⁶⁵ répondant aux objectifs d'apprentissage scientifique du programme 2002 « Des traces de l'évolution des êtres vivants (quelques fossiles typiques) ; grandes étapes de l'histoire de la Terre ; notion d'évolution des êtres vivants » (MEN, 14 février 2002, p. 87). L'organigramme de la séquence pédagogique (Annexe 2) propose quatre temps d'activités en classe qui s'appuient à la fois sur les concepts didactiques de problématisation et de travail sur l'obstacle : des activités d'entrée en questionnement des élèves, des activités d'émergence de leurs conceptions, des activités d'investigation scientifique et des activités de confrontation et de structuration des connaissances. C'est une adaptation du schéma proposé initialement par l'équipe INRP (Collectif, 1985, p. 21 et p. 23), schéma interprété par ailleurs en tant que **modèle pédagogique par investigation-structuration** (Astolfi & Develay, 1989, pp. 108-109). Puis il a été repris dans ses grandes lignes pour le prototype de séquence proposé par le site de la main à la pâte ([www. Lamap.fr/activites](http://www.lamap.fr/activites)) en lien avec l'Institut National de Recherche Pédagogique et l'Académie des sciences. Par rapport à notre projet de recherche, nous considérerons trois temps, celui préparatoire au débat, le débat lui-même dont la phase révélatrice de l'obstacle artificialiste et enfin celui des phases postérieures au débat où peut resurgir ce même obstacle. La séance du débat s'intègre donc dans notre étude de cas dans les premiers moments d'une progression où les approches concrètes à partir de l'observation de la diversité des vivants et des fossiles ont été favorisées et donnent du sens à une problématisation. Celle-ci sera finalisée par des activités scientifiques d'investigation et

⁶⁴ Jean-Philippe Caré est reçu professeur des écoles en 1998 dans le département du Doubs après l'obtention d'une maîtrise et d'un DEA en biologie et physiologie végétale. Il a passé son cafipemf (Certificat d'Aptitude aux Fonctions d'Instituteur ou Professeur des Ecoles Maître Formateur) en 2003. L'objet de son mémoire portait sur l'enseignement des sciences de la vie à l'école primaire à propos de la démarche expérimentale sur la germination et croissance des plantes exploitant les ressources du jardin botanique de Besançon, *Les démarches scientifiques dans la découverte du vivant. Quel rôle le partenariat a-t-il dans la mise en projet d'une classe ?* La géologie n'est donc pas son domaine de prédilection.

⁶⁵ Ministère de la jeunesse, de l'Education nationale et de la Recherche, Direction de l'enseignement scolaire, Académie des sciences-La main à la pâte (2002). *Documents d'accompagnement des programmes -Enseigner les sciences à l'école. Cycles 1,2 et 3.* CNDP. pp. 8-9.

d'institutionnalisation du concept de fossile. Voici l'exemple de la production finale de Mathieu. Les textes produits, collectivement en classe, sont quasiment identiques à ceux des autres élèves de la classe, les dessins de la frise des étapes de la fossilisation sont personnalisés

Iconographie N°1 : **Frise explicative de la fossilisation d'une ammonite**
en fin de séquence pédagogique par un élève de CM1



Pour arriver à atteindre ce niveau de conceptualisation, les concepts suivants ont dû être structurés : la généralisation des fossiles à tous les vivants animaux comme végétaux et par conséquent leur nature organique d'anciens vivants.; le processus de fossilisation simultanée à la sédimentation, deux processus en plusieurs étapes qui permettent la transformation de l'animal en fossile -par épigénèse- et du sédiment sédimentaire en roche -par diagenèse- ; la fossilisation est un phénomène aléatoire et exceptionnel jusqu'à sa découverte par l'Homme. Même si, dans ce cas précis, la fossilisation des ammonites concerne un moulage interne ou

externe plus qu'une épigénèse, et même si il y a survalorisation des mouvements tectoniques par rapport aux phénomènes d'érosion pour mettre à jour les fossiles, le parcours intellectuel pour objectiver cette formulation a été riche en problématisations.

5. 1.2 Les situations antérieures autour de la classification des vivants : de l'analogie des vivants actuels et passés aux conceptions initiales sur fossile et fossilisation (3 séances)

Le projet débute par une **activité de tri** demandée aux élèves regroupés par quatre ou cinq. Elle se situe dans un prolongement des apprentissages en cycle 2 sur la biodiversité actuelle et l'acquisition des grands repères dans la classification des vivants. L'élargissement est proposé ainsi sur le vivant passé. Le principe de recherche de critères de tri ou classement est basé sur **l'analogie entre vivants actuels et fossiles**, concept fondateur du raisonnement en paléontologie qui a été mis réellement en pratique par Lamarck lors de son chantier de réorganisation des invertébrés actuels et fossiles (Laurent, 2002, p. 349). Le matériel offert aux élèves comprend essentiellement des échantillons de coquilles actuelles et fossiles (Annexe 3) telles que celles qui ont intéressées les conchyliologistes au XVIII^e siècle, parfois fervents collectionneurs (Dezallier d'Argenville⁶⁶, 1757). Tous les fossiles sont récoltés fréquemment dans la région de Besançon, ce qui permettra éventuellement de les resituer sur le terrain ultérieurement. Lors de la **confrontation collective des tris proposés, différents problèmes** ont surgi : la convergence et non l'homologie font très fréquemment confondre un corail à une plante -les élèves proposent d'appeler leur échantillon « aniplante », terme équivalent des zoophytes des naturalistes-, une ammonite et un gastéropode -tous deux nommés escargots-, un mollusque lamelibranche et un brachiopode -tous deux bivalves appelés coquillages-, ce qui soulève le problème des repères prioritaires validés dans la classification ; les animaux disparus sur Terre et leur fragment fossile ou même les « laisses »

⁶⁶ Dezallier d'Argenville (1680-1765) appartenait aux Sociétés Royales des sciences de Montpellier et de Londres. Son goût pour les sciences de la nature et sa vie dans la région de l'Hérault l'ont porté à écrire un ouvrage à succès vu le nombre rapide de rééditions (1^{re} édition 1752 ; 2^e édition 1757 ; 3^e édition 1780). Ouvrage très populaire auprès des collectionneurs car il présentait deux originalités par rapport aux études précédentes, premièrement il répertoriait tout coquillage, actuel et fossile, marin, fluvial et terrestre, et deuxièmement il s'intéressait non seulement à la coquille mais à l'organisme mou pour classer les coquillages vivants. De plus il présente deux intérêts scientifiques : un lexique clarifiant les termes employés en conchyliologie qui peuvent présenter beaucoup d'homonymies à cette époque, et surtout une classification dichotomique préfigurant celle de Linné -celui-ci d'ailleurs utilisa cet ouvrage pour organiser sa propre collection-. La classification des coquilles fossiles est complétée par de très belles planches tome 2, édition 1780- p. LXVI « première planche des coquilles fossiles, les univalves », équivalent des gastéropodes et des céphalopodes (nautilaire, ammonites) & p. LXVII « deuxième planche des fossiles, les bivalves et multivalves »-, équivalent respectivement des lamelibranches et des oursins.

de mer⁶⁷, restes incomplets des animaux actuels, posent la difficulté des reconstitutions « vraies » ; les relations entre les vivants passés et les vivants actuels sont évoquées dont en premier la pétrification des vivants « comment le vivant peut-il devenir pierre ».

Puis dans un second temps **l'émergence des conceptions initiales** est organisée. Le débat retenu portera essentiellement sur les deux premières questions ouvertes parmi les quatre posées initialement par l'enseignant : « Qu'est-ce qu'un fossile ? Comment se forme un fossile ? Est-ce que tu connais d'autres fossiles que ceux que nous avons vus la dernière fois ? (en référence au matériel rappelé en Annexe 3) A ton avis, à quoi sert aujourd'hui l'étude des fossiles ? ». La pluralité des questions, comme nous l'avons précisée antérieurement, permet de faire un diagnostic précis des premiers systèmes explicatifs de chaque élève. Et ces premières réponses au questionnaire initial préparent les élèves à la réflexion collective lors du débat. Elles devraient les aider à exprimer leurs modèles spontanés tout en acceptant de les proposer à la critique du groupe classe.

5. 1.3 Le débat collectif à partir de quelques conceptions initiales sélectionnées : des objets fossiles aux phénomènes questionnés de fossilisation, disparition et transformation des vivants

Après **l'analyse des conceptions initiales hors temps scolaire**, l'enseignant a sélectionné huit productions d'élèves. Chaque production, isolément, est présentée au tableau par l'élève concerné et en rétroprojection afin que toute la classe le visualise correctement. Cette organisation génère donc huit épisodes du débat transcrit (Séance de 60 minutes, Annexe 4) gérés sur le même mode : la classe entière réagit en posant des questions, en critiquant les idées émises, en apportant de nouveaux points de vue. Un dernier temps de cette séance est une phase collective de structuration qui a comme objectif d'organiser toutes les idées apportées lors de la discussion sur une grande affiche dont les trois rubriques –fossiles, fossilisation, âge– étaient anticipées par l'enseignant. Elle n'est plus gérée comme un temps de débat mais constitue un bilan recueillant les différentes idées échangées sur la nature des fossiles, les mécanismes de formation et leur âge (Annexe 4).

Seuls **deux épisodes du débat** transcrit seront retenus car ce sont les seuls à révéler chacun un problème et un obstacle convergents avec ceux repérés en histoire des sciences : celui sur le problème de l'origine des fossiles discutant de la possibilité ou non d'une fabrication humaine (Annexe 5A : texte et dessin de Clara), celui sur la nature d'un fossile discutant de sa « croissance » (Annexe 5B : textes et dessins de Margaux et Laura). Le premier épisode rappelle la discussion entre Voltaire et Guettard que nous analyserons dans le chapitre

⁶⁷ Emploi courant du naturaliste pour nommer les parties organo-minérales abandonnées sur une plage : test, coquille, os

suivant. Le second épisode retenu rappelle les idées de La Sauvagère que Guettard a aussi pris la peine de combattre, et qui sera analysé dans le chapitre encore ultérieur. Les autres épisodes du débat scolaire portaient sur d'autres problèmes plus éloignés du concept de fossile tels les scénarios de mort d'un animal, la décomposition, les liens de parenté entre les dinosaures, les oiseaux et les mammifères ou encore la formation de la Terre (Annexe 4).

5. 1.4 Les situations postérieures, une investigation plurielle : des objets fossiles à leurs origine, nature et formation (7 séances) ; différents rappels de l'obstacle artificialiste

Les objectifs de l'enseignant sont clairement définis pour construire l'origine naturelle des fossiles à partir d'anciens vivants animaux et végétaux non obligatoirement contemporains de l'homme. En effet l'étude des fossiles fait prendre conscience d'autres repères spatio-temporels et relativise la place de l'Homme sur Terre. Au cours de cette progression la résistance à l'obstacle artificialiste est remarquée pour certains fossiles.

L'entrée en questionnement et en projet personnel de certains élèves est démontrée par **l'apport spontané de fossiles en classe**. Sans sollicitation de l'enseignant, Justine a apporté d'une part un moulage interne de gastéropode -une turrítelle-, pris pour une griffe de dinosaure ou une colonne vertébrale et d'autre part un rostre de bélemnite, pris pour un « missile en miniature ». Ce fut un **premier rappel de l'obstacle artificialiste**.

Puis le **second affrontement à ce même obstacle** eut lieu lors de l'investigation scientifique principale, la **sortie géologique** au pied d'une butte témoin constituée de marnes oxfordiennes dans les environs proches de Besançon. Ce gisement fossilifère datant de 156 millions d'années environ est intéressant par la diversité des échantillons dont des groupes disparus, leur bonne conservation car ils sont souvent épigénisés en pyrite et leur prélèvement facile dans une marne pouvant être très meuble par temps pluvieux. De nombreuses ammonites, céphalopodes disparus à coquille planispiralée, présentent une grande variété de morphologie et d'ornementation. Des bélemnites, autres céphalopodes disparus, sont archivées par leurs rostres nombreux. En complément des restes d'organismes nageurs cités précédemment, des restes d'organismes benthiques comme ceux des crinoïdes sont aussi très abondants. Quelques térébratules et de rares lamellibranches et gastéropodes peuvent compléter la récolte. Ainsi la plupart des fossiles récoltés sont des êtres vivants inconnus des élèves très éloignés de leurs références quotidiennes. En conséquence leur questionnement était favorisé. A la fin de la sortie, l'ensemble de la récolte fut mis en commun et exposé afin que chacun prenne connaissance des découvertes respectives. Suite à la consigne du maître de trier les différents objets récoltés en trois catégories, fossiles, non fossiles et ce sur quoi les élèves doutaient, plusieurs remarques d'élèves faisaient resurgir l'obstacle artificialiste : « on pourrait en

fabriquer (des fossiles) » dit Antoine; « Moi je dis que c'est un bout de fer » dit Alice en désaccord avec d'autres élèves. Des nombreux fossiles récoltés sont intrigants, surtout les morceaux de tige de crinoïdes ou les articles isolés correspondants ainsi que les rostrés de bélemnites. La séance suivante en classe reprend les objets récoltés douteux en considération et un nouveau débat eu lieu aboutissant à **l'émission d'hypothèses nombreuses dont l'artificialisme très prégnant**, les élèves acceptant de ne pas pouvoir trancher à cette étape de la démarche. A nouveau, de par la forme ambiguë des fossiles de crinoïdes, le problème resurgit de la frontière entre le monde naturel –« une plante, un corail, une colonne vertébrale ou une vertèbre, des insectes bizarres, un animal qui avait du fer sur lui »- et le monde technologique - « un bout de fer, un silex, une pièce de machine »-. En conséquence une **recherche principale à propos des crinoïdes** s'est instaurée, motivant les élèves mis devant une véritable énigme qui donnait du sens aux apprentissages scientifiques. Malgré des activités d'investigations diversifiées, l'objet fossile résiste toujours à dévoiler la solution. Les arguments de preuve ne sont pas jugés suffisants et consensuels dans la classe tandis que l'enseignant maintient le suspense. La sollicitation par courrier du conservateur du musée d'histoire naturelle Cuvier à Montbéliard garantira la solution exacte et valorisera l'hypothèse la plus proche fournie par les élèves (Annexes 6).

5. 2 Le corpus de données, support du débat en classe : les conceptions initiales sur la nature et l'origine des fossiles, leur processus de formation

5. 2.1 Un outil transposable d'analyse des conceptions initiales

L'exploitation pédagogique et l'exploration didactique des conceptions initiales des élèves et des obstacles associés, sont au cœur de nombreuses recherches en didactique depuis les années 1970 (Astolfi & al. , 1997, pp. 147-157 ; Reuter, 2007, pp. 197-202). Elles restent cependant encore incomplètement exploitées par les professeurs des écoles ou de collège. Or une des conditions didactiques favorables pour un débat généré à partir des conceptions initiales des élèves, est la nécessité d'une analyse par l'enseignant. Des organigrammes leurs sont proposés pour cerner objectifs et obstacles à l'apprentissage des concepts de fossile et fossilisation (Sauvageot-Skibine, 1995, p. 151 ; Laperrière-Tacussel, 2002, p. 94). Nous avons préféré proposer aux enseignants un outil didactique différent permettant de les guider parmi la diversité et la complexité de l'ensemble des conceptions initiales individuelles à prendre en compte. C'est un **outil méthodologique non prescriptif** qui offre des pistes plurielles d'analyse des conceptions initiales, analyse à la fois spécifique et exhaustive de chaque classe. Ce n'est pas un outil didactique "clé en main", l'enseignant est guidé de façon interactive pour

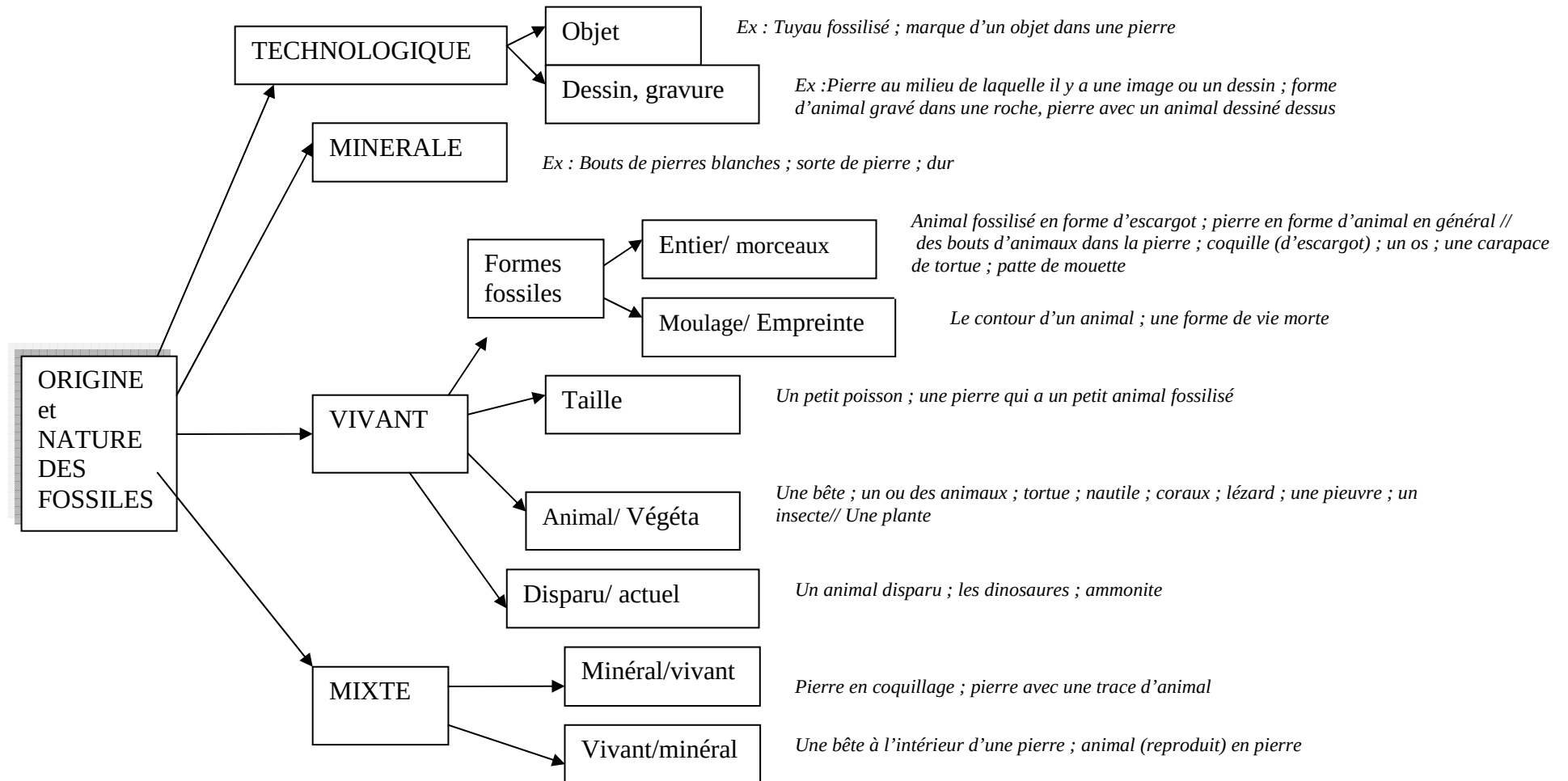
prendre en considération toutes les idées des élèves et les organiser afin d'optimiser la séance de confrontation des conceptions initiales. L'outil favorise la recherche autonome par l'enseignant des problématiques liées aux conceptions initiales. Basé sur **un principe de classement de critères génériques**, cet outil guide l'enseignant à repérer les différentes idées spécifiques mobilisables dans sa classe puis à discerner les grandes typologies d'idées. Celles-ci peuvent être complémentaires ou opposées et de nature différente, des erreurs, des obstacles épistémologiques ou des savoirs validés par la communauté scientifique (Annexe 1). L'enseignant les prend tous en charge avec empathie. Cet outil reproduit la méthodologie dichotomique de sérier des ressemblances et des différences parmi les idées des élèves comme les naturalistes l'ont fait quand ils ont tenté de prendre des repères au sein de la diversité des vivants pour cerner l'unité organisationnelle et fonctionnelle du vivant. Ils ont essayé d'approcher un ordre et des lois parmi un chaos apparent. De même les variants et les invariants de la pensée humaine d'une classe tentent d'être ainsi canalisés à une échelle beaucoup plus modeste bien sûr. L'enseignant peut ainsi clarifier le réseau d'idées et de questions qui sont susceptibles d'être débattues par la communauté scolaire. Il sélectionnera quelques productions d'élèves pour les soumettre à la critique du groupe classe soit parce qu'elles s'opposent, soit parce qu'elles sont erronées, soit parce qu'elles constituent un obstacle. Cet outil veut d'une part rassurer l'enseignant en limitant la prise de risque des décisions en actes effectuées dans l'urgence et dans l'incertitude (Perrenoud, 1999). Mais aussi il a comme objectif de lui permettre de maîtriser au mieux la conduite du débat car le contrôle plus ou moins conscientisé par l'enseignant des échanges verbaux en interaction avec des « non-dits partagés » conditionne l'avancée de la problématisation (Orange, 2005, p. 85). L'enseignant devrait être ainsi mieux armé pour piloter les élèves dans une problématisation en cours de débat. De même que les élèves sont aussi mieux préparés à s'engager dans un débat argumenté à partir des observations de fossiles et des idées mobilisées à leur propos. La séance que mène l'enseignant veut être une séance de confrontation des idées divergentes et des premières raisons sans rester au stade de simple séance de présentation.

Tous les enseignants de CM1, CM2 et 4^{ème} ont pu consulter cet outil avant leur analyse des premières conceptions initiales de leurs élèves portant sur le concept de fossile. C'est une méthodologie commune à tous les projets de classe retenus (cf Chap. 2.11). Mais seul le débat scolaire en CM1 lui est directement corrélé. Le débat retenu en CM2 est beaucoup plus tardif dans la séquence pédagogique et s'intègre au niveau de la phase d'investigation. Quant au débat retenu en 4^{ème} de collège il porte principalement sur la mise en histoire des vivants.

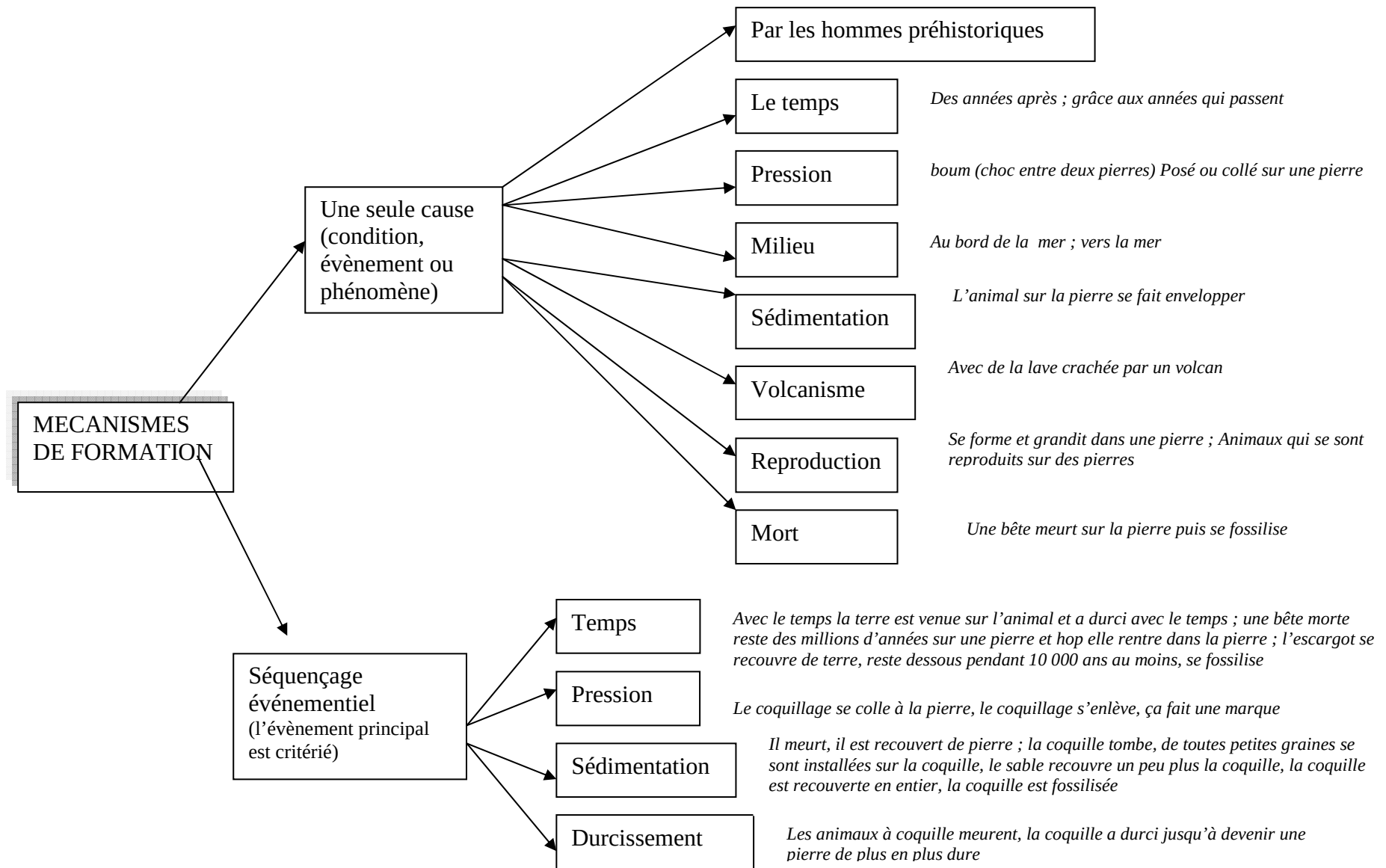
5. 2.2 Organiser la diversité des propositions écrites individuelles des élèves

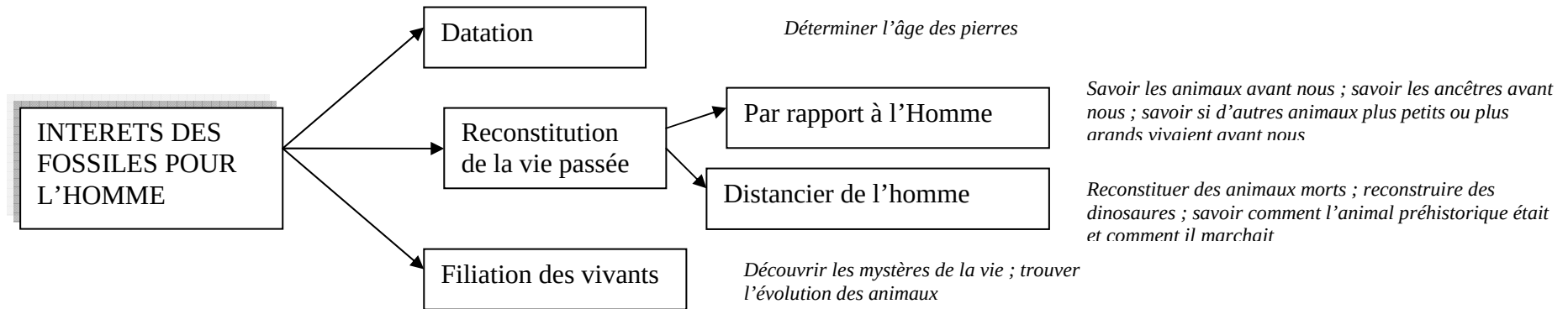
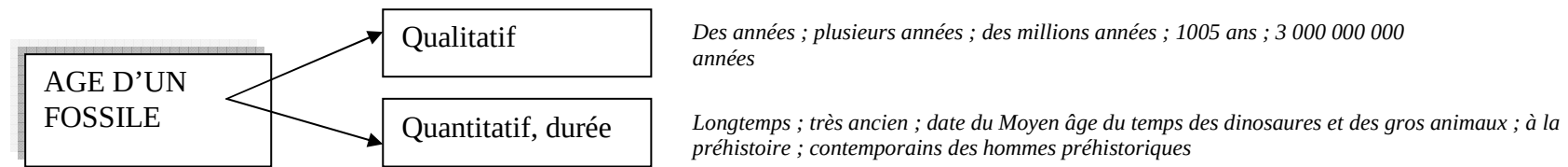
Le résultat particulier dans la classe de CM1 est schématisé dans un organigramme ci-dessous que nous appellerons un espace des possibles puisqu'il structure l'ensemble des idées des élèves susceptibles d'être explicitées lors du débat en classe (Schéma N°1). Il nous montre le **potentiel des accords et désaccords d'élèves à propos de quatre problèmes principaux**. La diversité des propositions est grande concernant les natures et origines des fossiles, les mécanismes de fossilisation, les différents âges des fossiles et l'utilité des fossiles. Par rapport au problème de l'origine du fossile, l'artificialisme est marqué chez plusieurs élèves. Il l'est soit de façon explicite lorsque les élèves parlent de fabrication par les hommes préhistoriques (Clara, Annexe 5A) ou encore de contemporanéité des fossiles avec ceux-ci (Jade). Soit il l'est de façon implicite lorsqu'ils évoquent une image (Martin) ou un dessin (Anthony : « une pierre avec un animal dessiné dessus ») ou un animal gravé comme un cheval (Margaux) ou encore les périodes de Moyen-âge (Martin) et de la préhistoire (Antoine, Farès, Laura). Tous ces exemples singuliers convergent vers la définition d'un obstacle artificialiste « qui consiste à considérer les choses comme le produit de la fabrication humaine » (Piaget, 1999, pp. 213-214). Certains élèves croient donc que tous les objets et les phénomènes naturels sont l'œuvre de l'homme ou d'un agent extérieur. Beaucoup d'élèves pourraient se mobiliser finalement dans le futur débat collectif pour défendre le point de vue d'une origine technologique des fossiles. Beaucoup d'autres aussi pourraient manifester leur désaccord en se référant à d'autres modèles explicatifs, surtout celui de l'origine animale par empreinte ou moulage.

Schéma N°1 : ESPACE DES POSSIBLES exprimés par des élèves de CM1 / questions de l'enseignant:
 «Qu'est-ce qu'un fossile ? Comment se forme un fossile ? Est-ce que tu connais d'autres fossiles que ceux que nous avons vu la dernière fois ? A ton avis, à quoi sert aujourd'hui l'étude des fossiles ? »



Deuxième partie : Le problème de l'origine des fossiles et l'artificialisme





L'enseignant a donc sélectionné et décidé de l'ordre de passage des productions dont il avait interprété les modèles explicatifs suivants : deux conceptions artificialistes (Clara, Margaux), une conception où la fossilisation partielle apparaît pour les dinosaures (Farès, Xavier), une conception dans laquelle un temps géologique est proposé, associé au durcissement (Hugo), une conception sur la « croissance végétale » des fossiles (Laura), une conception où la sédimentation et un temps historique sont présents (Carla). Globalement l'ordre de passage des productions est choisi de la conception la plus éloignée de la connaissance actuelle validée à la plus rapprochée de celle-ci. Voyons comment la gestion du débat déclenché par quelques unes de ces conceptions initiales d'élèves peut mener les apprenants à des raisons scientifiques lors d'un débat en classe.

5. 3 Les raisons en jeu dans l'épisode artificialiste du débat, analyse du débat dans le cadre de la problématisation

Les priorités didactiques pour l'apprentissage des sciences évoluent et les visées d'exploitation des séances de confrontations des conceptions initiales des élèves en parallèle : nous passerions d'une centration sur les conflits socio-cognitifs générés lors des séances de confrontations et les obstacles (Bednartz & Garnier, 1989) à une réorientation sur les pratiques langagières d'une communauté discursive (Reuter, 2007) et à la problématisation (Fabre & Vellas, 2006). Même si ce déplacement pose questions (Peterfalvi, 2006), nous avons été pris en tension entre ces deux courants de pensée didactique de l'apprentissage en sciences : le versant « négatif » de la pensée de l'élève en considérant les obstacles qui freinent la connaissance et le versant « positif » de cette même pensée d'élève qui construit des raisons à l'accès au savoir. C'est pourquoi nous avons choisi d'articuler une problématique et un obstacle épistémologique pour chaque étude de cas comparative. Notre étude centrée sur la problématisation va repérer les éléments de l'espace-problème et de l'espace de contraintes construits par des élèves de CM1 en regard de l'émergence de l'obstacle artificialiste.

5. 3.1 Schématisation de l'espace-problèmes, choix d'une controverse artificialiste

Considérons que tout débat peut être étudié en didactique par une schématisation mettant en valeur l'argumentation des élèves développée dans un espace-problème. Cet espace est le lieu de construction du problème –de la prise en charge d'une question à l'organisation des éléments du problème posé- et de résolution du problème –de la formulation d'hypothèses à leurs validations ou réfutations- (Fabre & Orange, 1997). Nous nous référons à la

méthodologie de macrostructure globale (ibid., pp. 45-47) pour clarifier **les controverses et l'exploration des possibles** émis par les élèves. Cette macrostructure du débat ou de la controverse ne représente qu'une partie donc de l'espace-problème. Elle va privilégier la représentation des processus de construction du problème par la mise en réseau des sous-problèmes et des raisons mobilisées. A partir de la question initiale de l'enseignant, les élèves prennent conscience peu à peu du problème de l'origine des fossiles et leur discussion engage l'organisation des éléments de cette problématique (Schéma N°2). Une véritable exploration des possibles est effectuée par les élèves, de nombreuses hypothèses sont déclinées. Et un début de résolution de celles-ci est apporté par vérification souvent à partir d'illustration singulières ou par falsification à partir d'objections. Il nous paraît intéressant à partir du dialogue de la classe, qui à première vue semble éclectique, de révéler la dimension épistémique du débat. Nous proposons ici d'emblée une **synthèse des trois épisodes retenus du débat présentant les mêmes tendances que celles repérées en histoire des sciences, l'artificialisme** (1^{er} extrait 1 : annexe 4, occurrences 1 à 116) **mais aussi la végétation des fossiles** (2^{ème} extrait : annexe 4, occurrences 117 à 254 ; extrait 3 : annexe 4, occurrences 460 à 518) que nous aborderons dans la troisième partie de cette recherche. L'ensemble des propositions des élèves constitue la construction du problème et non sa résolution ! **La problématique est déclinée en cinq problèmes** : la production humaine des fossiles, leur formation sur ou dans une pierre par croissance ou non, la cause d'une catastrophe et ses conséquences et enfin la taille relative des animaux et fossiles résultants. La structuration du schéma N°2 ci-après est appuyée d'une légende qui différencie et regroupe les réponses partielles de type question/réponse appartenant au même problème fondamental qui constitue un sous-espace de représentation. Trois types d'interactions sont mis en valeur par une typographie différente, les questions en caractère gras, les réponses en caractère normal et les objections en italique. Ce schéma présente **l'enchaînement du débat** par les inférences visualisées par les flèches verticales ou horizontales. Trois types d'inférences sont déclinées, apocritique (Q-R : la question conduit à une réponse), problématologique (R-Q : la réponse relance une nouvelle question) et aporétique ou d'objection (Q-O ou R-O ou OO : la question, la réponse ou l'objection se heurtent à une contradiction ; elles sont remises en cause, d'où le sens inverse de la flèche utilisée). Le schéma présente aussi les **embranchements du débat** par les flèches biaisées qui représente les différentes ouvertures. Nous considérons deux types d'embranchements : soit les alternatives par les questions (QA/QB) ou les réponses (RA/RB) concurrentes et les objections convergentes (OA/OB) qui donnent lieu à des controverses, soit les ramifications qui rebondissent d'une question vers une nouvelle question ou une réponse vers une nouvelle réponse. Remarquons que ce sont les élèves qui explicitent les principaux problèmes (Q2, Q3, Q5A, Q5B et Q5C) et sous-problèmes (Q4, Q7) à part celui sur la formation simultanée de tous les fossiles sur Terre renvoyé par l'enseignant à la classe (Q4bis) et celui sur la taille des animaux fossilisés qui est implicite (Q6). La représentation

nous permet de repérer que seul le développement structuré autour d'un piégeage de l'animal dans la boue (R1B) transformé en pierre (R5A), prémices de la compréhension d'une sédimentation simultanée à la fossilisation, ne rencontre aucune objection. Tous les autres cheminements naviguent dans une phase argumentative oscillant entre réponses concurrentes (R1, R2, R5 à R10) et objections (O1 à O7). Nous retrouvons le fait que, dans une démarche de raisonnement scientifique, **la preuve par réfutation semble plus facilitée que la preuve par conjecture** (Popper, 1979/2006).

Intéressons nous maintenant plus précisément aux **deux controverses retenues en relation à l'histoire des sciences** pour notre étude comparative. La première controverse est celle entre l'origine artificielle (R1A) et l'origine naturelle des fossiles (R1B) qui illustre le problème essentiel des rapports de l'homme avec la nature (Annexe 4 : occurrences 4 à 116 de la 4^e minute à la 16^e minute de la transcription du débat et Annexe 5A, Clara). La seconde controverse est celle entre l'origine naturelle d'ancien vivant (R5A) et la végétation des fossiles (R5B et R5C) qui pose le problème central de la fossilisation, discutant des relations entre le sédiment/roche et l'animal/fossile (Annexe 4 : occurrences 117 à 254 de la 16^e minute à la 24^e minute du débat et Annexe 5B associée- Margaux ; occurrences 460 à 518 de la 38^e minute à la 43^e minute et Annexe 5B associée- Laura)

Légende du schéma n°2, la problématique de l'origine des fossiles construite en classe de CM1

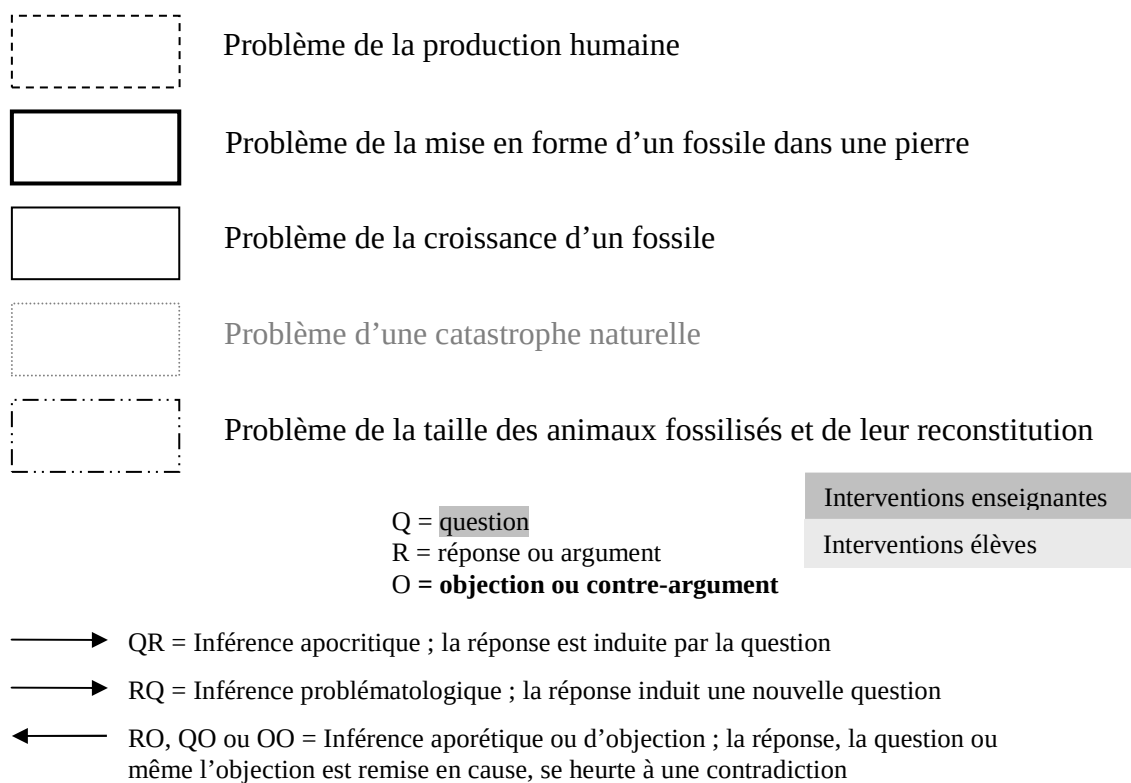
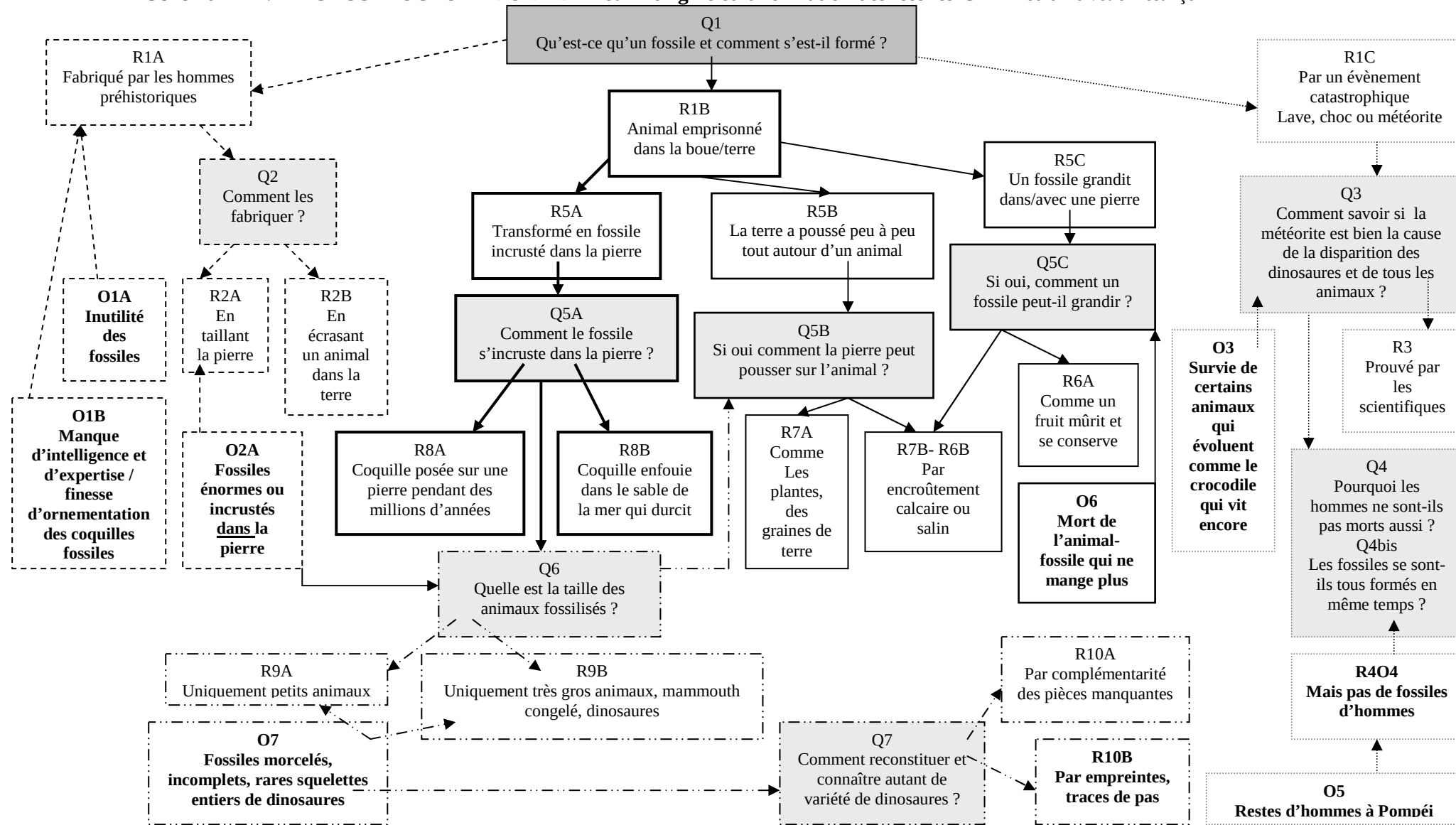


Schéma N°2 : MACROSTRUCTURE DU DÉBAT sur l'origine et la formation des fossiles-CM1-École Helvétie-Besançon



Dans la première phase du débat, la problématique de l'origine des fossiles peut se décliner en trois thèses fondamentales, une cause artificielle, une cause naturelle brutale, des causes successives lentes explicitées par les élèves. **La thèse à dominante catastrophiste reste périphérique** par rapport aux deux autres thèses. D'une part parce que les réponses incomplètes liées à l'émission volcanique ou au choc entre deux pierres (R1C) n'induisent aucune réaction des autres élèves et sont des impasses dans le raisonnement. D'autre part parce que l'hypothèse de la météorite ne mobilise que deux élèves, Vincent et Hugo, le reste de la classe restant en dehors de leur discussion interne. La thèse catastrophiste en histoire des sciences a été vivement défendue notamment en Angleterre au XVIII^e siècle par William Whiston⁶⁸ et sa « chute de l'ancien monde » ainsi que par John Woodward⁶⁹ et « sa seconde formation » (Gohau, 1990b, p. 119). Le premier envisageait même une rencontre de comète avec la Terre pour expliquer le déluge et l'orogénèse (ibid, p. 253). Et le second fut même qualifié de « diluvianiste précoce hyper-catastrophiste » (Ellenberger, 1994, p.40). Elle est inféodée à la prégnance des références religieuses liées à l'enseignement biblique du dogme du Déluge universel. Elle est reprise en France au XIX^e siècle par Georges Cuvier et Alcide D'Orbigny (Laurent, 2002). Mais le postulat d'une catastrophe universelle absolue évolua à partir de théories catastrophistes divergentes et nuancées vers un compromis de catastrophes globales puis partielles. En relation avec une conception « créationniste », les « catastrophes » ou révolutions géologiques furent estimées même jusqu'au nombre de vingt-sept par D'Orbigny (Fischer & Vénec-Peyré, 2002) ce qui l'affilie à un « catastrophisme biologique dramatique » (Ellenberger, 1994, p. 327). Quoi qu'il en soit, la tradition intellectuelle française se refusant aux positions extrémistes et aux solutions définitives, elles furent l'objet de nombreux débats, existence ou non d'une ou de plusieurs catastrophes, globales ou locales (Laurent, 1987, p. 495). Par récurrence au sein des communautés scientifiques anglaises et françaises, Hutton puis Lyell et Lamarck en furent de vigoureux opposants en envisageant le principe d'uniformité des causes actuelles. La distanciation progressive au Créateur et à ses miracles permit aux explications matérialistes de s'épanouir dans les sciences du vivant et de la Terre. Ce fut l'anti-catastrophisme qui ouvrit la voie au transformisme (Laurent, 1987). La réfutation de cataclysmes universels fut démontrée par plusieurs preuves fossiles, des masses de polypiers intégrés dans les roches, des coquilles fragiles bien conservées de mollusques et surtout quelques dizaines d'espèces des terrains tertiaires analogues ou identiques aux espèces actuelles. Donc ces quelques espèces ne se sont pas éteintes, et leurs degrés de ressemblances suffisent à induire la possibilité d'un changement. C'est donc en combattant la problématique

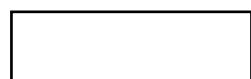
⁶⁸ Whiston, W. (1696/1725 4^e édition). *A new theory of the Earth from its original, to the Consummation of all things. Wherein the Creation of the World in Six Days, the Universal Deluge, And the General Conflagration...* Londres.

⁶⁹ Woodward, J. (1735). *Géographie physique, ou essay sur l'histoire naturelle de la Terre [...] avec la réponse aux observations de M. le Doct. Camerarius*. Paris : Briasson. Cette édition française est la traduction de la première édition originale anglaise de 1695

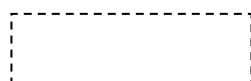
des espèces perdues de Cuvier que Lamarck apporta la problématique des espèces analogues qui devint le fondement de la théorie transformiste. En histoire des sciences c'est un champ d'étude très abondant et captivant à situer par rapport à la science d'aujourd'hui « mélange égal et indissociable d'uniformitarisme et de catastrophisme » (Gould, 1990, p. 282). Cependant nous ne développerons pas plus avant comme un cas d'étude la thèse catastrophiste qui n'a pas donné lieu dans nos prospections à une controverse scolaire.

Nous allons donc analyser pour notre première étude comparative, plus finement maintenant, **la controverse principale sur l'origine des fossiles en rapport avec l'obstacle artificialiste**, qui correspond au premier extrait de débat de la classe de CM1 (Annexe 4, occurrences 4 à 116). Nous analyserons plus en détail l'autre controverse sur l'origine des fossiles en rapport avec l'obstacle de la végétation des fossiles dans notre troisième partie. Selon la même méthodologie que précédemment nous avons représenté une macrostructure de la controverse principale (Schéma N°3) en regard des formulations des élèves retenues plus spécifiquement sur le problème de l'origine artificielle des fossiles (Annexe 7). Cette macrostructure visualise donc seulement une partie de la problématique d'ensemble (Schéma n°2) vue auparavant. Elle nous permet d'entrer dans une analyse plus fine. La légende de la macrostructure se réfère aux formulations d'élèves repérées et retenues (Annexe 7) de la transcription du débat (Annexe 4).

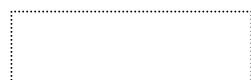
Légende du schéma N°3



Problème d'une production humaine



Problème d'un phénomène naturel long



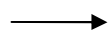
Problème d'un évènement brusque

Q = question

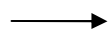
R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**

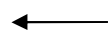
-bis = complément de réponse, de question ou d'objection



QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question



RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question

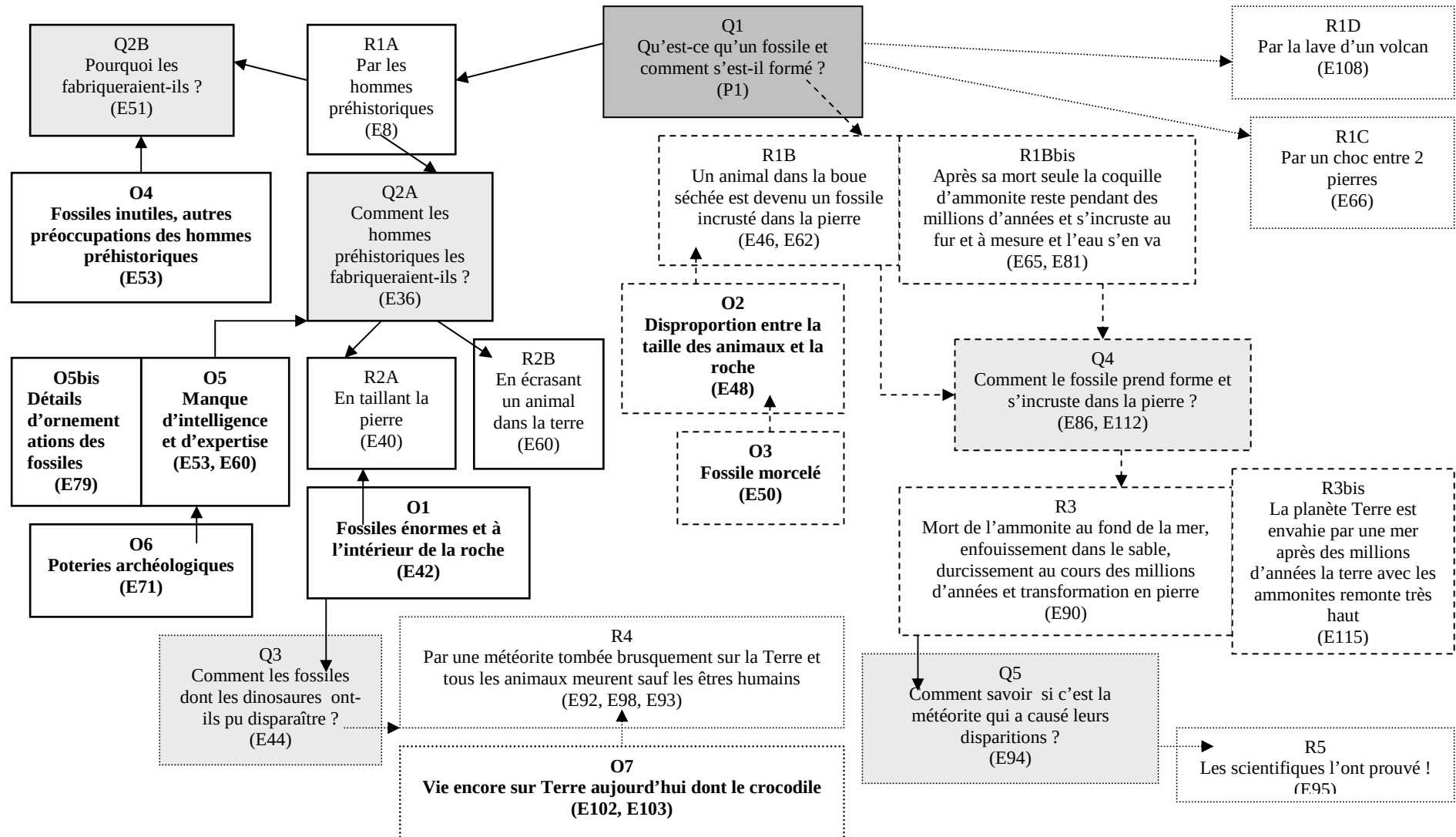


RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 4)

(P) : occurrence professeur

Schéma N°3 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE de la classe de CM1 / obstacle artificialiste** (occurrences 4 à 116)



La controverse mobilise douze élèves (cinq filles et sept garçons) au total sur les vingt-neuf élèves de la classe, ce qui représente une forte participation dans ces douze minutes enregistrées de discussion. Les élèves prennent conscience des réponses divergentes, ils **positionnent la problématique** entre **la thèse** (R1A) d'une logique artificialiste « les fossiles ont été faits par les préhistories (les hommes préhistoriques) à la préhistoire » (Clara, occurrence E8) et **l'antithèse** (R1B) d'une logique naturelle « Les fossiles se sont fabriqués par eux-mêmes » (Mathieu, occurrence E62). Il est intéressant de remarquer cette formulation de Mathieu qui emploie tout de même le verbe «fabriquer » pour expliciter un phénomène naturel en voulant contrecarrer l'idée d'une production humaine.

En effet **la première thèse** (R1A), proposée par Clara, d'une production artificielle renvoie à deux inférences problématologiques (R1A-Q2A et R1A-Q2B), la première questionne la possibilité de réalisation technique par les hommes préhistoriques, la seconde refuse de l'envisager vu l'inutilité des fossiles au regard des modalités de survie à la préhistoire. Elle renvoie aussi à deux inférences d'objection, le manque supposé d'intelligence et l'insuffisance d'expertise (O5) des hommes préhistoriques –qui ont pourtant modelé des poteries (O6)- vis-à-vis des détails de structure et d'ornementations des fossiles (O5bis). La question de la fabrication humaine (Q2A) génère deux inférences apocritiques. L'embranchement fournit deux réponses, l'une complètement distanciée du vivant par la sculpture de la pierre (R2A) et l'autre intégrant le vivant et un autre état de la matière sans négliger pour autant la participation de l'Homme (R2B). Une inférence d'objection intervient et un autre problème est amorcé, celui de la dimension d'un fossile (O1).

Le **second développement** (R1B) s'exprime par une alternance de question-réponses enchaînées autour du cas singulier d'une coquille d'ammonite. Là encore une inférence d'objection intervient et un autre problème est amorcé, celui de la dimension d'un animal (O2) ou de la fossilisation partielle (O3). Mais les élèves le délaissent pour une autre piste à explorer, le temps causal suffisant en premier lieu (R1Bbis : temps imprécis : Rémi, occurrence E63 ; temps long : Antoine, occurrence E81). Une inférence problématologique (Q4) est déclenchée sur la possibilité du fossile de prendre forme dans ou sur la pierre. Puis finalement cette inférence induit le déroulement de deux mises en histoire envisageant toutes les deux un temps profond « des millions d'années » mais structurées à deux échelles spatiales différentes, locale (R3, Mathieu, occurrence E90) ou globale (R3bis, Hugo, occurrence E115).

Quant à la **thèse catastrophiste** elle intervient disséminée parmi les deux problèmes précédents. Deux inférences problématologiques émergent convergeant vers la recherche d'une cause de disparition des dinosaures (Q3 et Q5). Le savoir des scientifiques bloque tout raisonnement (R5) et la généralisation de mortalité à tous les animaux hormis l'homme (R4) et donc de disparition de grand groupe tel celui des dinosaures est remis en cause par la référence à des espèces actuelles comme le crocodile (O7). Actuellement les plus récentes

découvertes en Chine de dinosaures possédant des plumes ravivent cette notion d'extinction du groupe des dinosaures, les oiseaux seraient leurs descendants⁷⁰.

La résolution du problème de l'origine des fossiles n'est pas encore effective, mais la problématisation a ouvert des pistes d'investigation qui devront être travaillées dans la suite de la séquence pédagogique. Pour autant l'obstacle artificialiste n'est pas dépassé définitivement pour tous les élèves de la classe, mais il est fortement déstabilisé. Pour preuve rappelons qu'il réapparaîtra à trois moments du projet pédagogique, lors de l'apport de fossiles personnels d'élèves, lors de la récolte collective de fossiles à la marnière et lors de la séance suivante gérant une discussion à partir des objets récoltés énigmatiques. Un débat s'est donc instauré dans la classe, le maître a guidé l'installation d'une problématisation et les élèves ont construit du sens aux connaissances paléontologiques : la question de l'enseignant sur l'origine des fossiles a évolué vers une problématique des rapports entre un vivant animal et une roche, autrement dit c'est une première prise de conscience collective d'une transformation de la matière et d'un état différent associés à un temps profond. En effet l'ambiguïté est vraiment très fréquente entre l'animal et le fossile car les élèves emploient d'une façon inappropriée l'un ou l'autre. Quand Vincent voudrait exprimer la disparition des êtres vivants sur Terre « comment ils ont pu disparaître ... les fossiles, [...] les dinosaures ils peuvent pas disparaître comme ça d'un coup » (Annexe 5A, occurrence E44) ou leur survie « Y en a qu'ont du survivre les fossiles parce que sinon y'aurait jamais plus de vie sur Terre » (Annexe 5A, occurrence E103). Ou quand Rémi accorde un cycle de croissance aux fossiles « au début ils (les fossiles) sont jeunes tout jeunes, puis ensuite ils commencent à vieillir de plus en plus, et quand ils sont morts et ben il reste plus que la coquille par exemple ammonite » (Annexe 5A, occurrence E66). La seconde ambiguïté familière concerne la roche dure et la boue explicitée par Emma à deux reprises : une objection « Mais aussi c'est pas possible car les animaux ils sont pas petits comme sur la pierre puis après *aller* dans la boue parce qu'ils sont quand même plus gros qu'un caillou » (Annexe 5A, occurrence E48) ou une question « Mais aussi comment la bête elle fait pour s'incruster sur la pierre ? » (Annexe 5A, occurrence E112). Le maître ainsi a invité les élèves à se distancier de leurs modèles explicatifs spontanés et à prendre en compte la pensée d'autrui. Voyons comment cette cartographie des contraintes et des possibles d'un espace problème peut évoluer vers la représentation d'une spécificité d'un savoir scientifique, l'émergence de la nécessité d'un modèle explicatif qui est une autre perspective de la problématisation.

⁷⁰ Buffetaut, É. (20 septembre 2006). Les dinosaures. In *2000 ans d'histoire*. France-inter.com

5. 3.2 Vers la schématisation d'un espace de contraintes et de possibles

De la macrostructure de la controverse artificialiste à l'espace des contraintes il y a méthodologiquement une **réduction du corpus étudié** et une centralisation vers une **spécificité d'un savoir scientifique, son apodicticité**. Voyons quelles nécessités ont été mises en jeu sur l'origine des fossiles dans notre classe de CM1 et comment elles se sont co-construites dans un espace de contraintes en prenant appui sur trois référents spécifiques, empirique, explicatif et épistémique selon une catégorisation de la nature des arguments expliquée antérieurement.

Du débat en classe à l'identification des contraintes mobilisées par les élèves

La première étape est celle de **l'identification des contraintes** dans le débat entre élèves, c'est-à-dire les passages obligés qui contraignent le raisonnement des élèves dans leur cheminement de connaissance commune vers le savoir paléontologique.

Une **réduction du corpus** est opérée. Nous ne considérons pas les interactions langagières des élèves qui ne sont pas en rapport avec la problématique d'une origine naturelle ou artificielle des fossiles. Ainsi les **échanges langagiers non pertinents** sur le volcanisme et la disparition des êtres vivants sont considérés comme hors de notre propos « les dinosaures ils peuvent pas disparaître comme ça d'un coup ? ! » (Annexe 4, Vincent, occurrence 44). Non seulement sur le faible nombre d'élèves mobilisés mais aussi du point de vue cognitif, ces interactions verbales ne semblent jouer aucun rôle pour faire avancer la problématisation qui nous intéresse. Dans la macrostructure de la controverse (Schéma N°3) ou dans l'espace de contraintes et de possibles (Schéma N°4), il apparaît d'ailleurs complètement dissocié de la problématique centrale.

Cela suppose donc que nous retenons uniquement les **interactions langagières des élèves en rapport avec la problématique de l'origine des fossiles**. Par contre nous devons prendre en compte toutes les occurrences ou les parties d'occurrences des élèves qui argumentent en réponse au problème de la cause artificielle évoquée, elles constitueront nos **unités d'analyse en phase avec le problème discuté**. Aussi **la part d'interprétation du chercheur** n'est pas négligeable **pour relever les nécessités**. Trois cas possibles d'analyse des interactions langagières sont répertoriés pour déceler le caractère apodictique de l'intervention d'un élève. Premièrement dans le cas le plus simple **la nécessité est explicitée par l'élève**. Une seule fois la nécessité temporelle associée à celle de régression marine sont évoquées par Rémi qui s'appuie sur le cas particulier de la coquille d'ammonite.

Rémi Occurrence 65	ensuite sûrement quand le temps passe 'y a plus d'eau
Vincent, Occurrence 92	« les fossiles y a du y'avoir un événement pour qu'ils disparaissent tous d'un coup »

La dernière nécessité repérable dans le dialogue ne concerne pas directement la production humaine ou naturelle mais l'évènement catastrophique unique que convoque un seul élève. Deuxièmement **la nécessité est déduite « en miroir » des impossibles explicités**. Pour s'opposer à la taille des pierres suggérée par Alice (Annexe 4, occurrence 40), il semble y avoir un consensus sur l'impossibilité de cette technique accordée aux hommes préhistoriques. Quatre élèves s'insurgent contre cette idée.

Mathieu, Première réfutation, Occurrence 42	« Mais aussi ils peuvent pas tailler la pierre parce que desfois c'est un gros (fossile) desfois on voit que ça ressort et desfois c'est incrusté dans la pierre. Donc c'est impossible qu'ils le font »
Emma conteste aussi Occurrence 48	« Mais aussi c'est pas possible car les animaux ils sont pas petits comme sur la pierre pis après <i>aller</i> dans la boue parce qu'ils sont quand même plus gros qu'un caillou.
Hugo la réfute encore Occurrence 60	« Déjà ça peut pas être les hommes de Cro-magnon qui les ont taillés parce que ils ont-ils ont pas assez d'expertise pour savoir bien tailler. Comme c'est rond et tout. »
Jacob la récuse à nouveau, Occurrence 79	« les hommes préhistoriques ils ont pas pu les faire car sur les fossiles y a des détails des traits bien fait et pis les hommes préhistoriques ils savaient pas si bien faire que ça »

En définitive l'impossibilité de la taille des fossiles est exprimée par plusieurs arguments d'objection, soit pour leur taille parfois énorme des fossiles, soit parce que le fossile est intégré dans la roche, soit parce que les détails d'ornementations des coquilles demanderaient trop d'expertise. En multipliant les contre-exemples la tentative de généralisation du processus de sculpture s'amenuise. Globalement nous en déduisons, « en miroir des objections », la nécessité d'un processus naturel. Mais pouvons-nous pour autant préciser lequel ?

C'est là que le troisième type d'analyse intervient quand **la nécessité est implicite**. Elle est alors inférée par recoupement de plusieurs interactions langagières et redondance d'un argument avancé. La première nécessité implicitement évoquée est temporelle, marquée par des connecteurs de succession événementielle.

Hugo Occurrence 46	« ...au bout du temps ils ont été dans de la boue, ou de la terre, et pis à force elle a séché la terre et puis c'est devenu de la pierre... »
Rémi Occurrence 62	« ...Alors au début ils sont jeunes tout jeunes (les fossiles), pis ensuite ils commencent à vieillir de plus en plus... »
Antoine Occurrence 81	« ...Alors moi je pense que c'est une bête, elle est morte elle reste pendant des millions d'années sur une pierre et après elle s'incruste au fur et à mesure ...»
Hugo Occurrence 115	« ... les ammonites elles vivaient dedans, elles vivaient dans l'eau et après au bout des millions et des millions d'années y'a la terre qui est remontée... »

Nous pouvons remarquer au fur et à mesure des interventions langagières une précision quantitative et un allongement du temps nécessaire. La deuxième nécessité implicite est spatiale. Le cas singulier de l'ammonite aide les élèves à reconstruire une histoire.

Mathieu, Occurrence 90	Dans la mer ils peuvent s'incruster dans le sable, le sable il durcit au cours des millions d'années et après ça commence à ... à devenir une pierre et après on le retrouve au fond de l'eau comme les "amanites". Donc quand elles sont mortes elles s'enfoncent.
Hugo, Occurrence 115	Ben les fossiles d'ammonites par exemple ils se sont formés parce qu'avant la Terre c'était presque que une seule grande une seule grande grande mer et ben les ammonites elles vivaient dedans, elles vivaient dans l'eau et après au bout des millions et des millions d'années y'a la terre qui est remontée, et heu c'est devenu beaucoup c'est devenu beaucoup plus haut, et après y'a beaucoup moins de mer et puis les ammonites donc y'en a qui sont montées en haut. Et le sable c'est devenu une pierre.

Le scénario premier reste à une échelle locale alors que le second scénario est élargi à une échelle globale. Finalement la nécessité la plus implicite est celle du changement d'état qui pose toujours problème à la fin de la discussion et constitue un obstacle majeur « c'est les animaux qui ...au bout du temps ils ont été dans de la boue, ou de la terre, et pis à force elle a séché la terre et puis c'est devenu de la pierre et puis ils ont dû faire on sait pas comment mais ils ont, ils sont ... y a quelque chose qui fait qu'ils se sont incrustés dans la pierre » (Annexe 4, Hugo, occurrence 46).

Toutes ces nécessités ferment le raisonnement sur la cause naturelle. Il n'empêche qu'il reste, à la fin de ce temps de débat, deux ouvertures en suspens sur la possibilité d'intervention par l'Homme. Une élève maintient l'idée de la sculpture par les hommes préhistoriques, Alice : « Moi je voudrais revenir à ce que dit Hugo, ça pourrait être faux. Parce que ils ont pu faire des fossiles, ils ont bien fait des pots pour faire de la nourriture, pour manger » (Annexe 4, occurrence 71). Un élève fait une tentative consensuelle entre les deux thèses de la controverse : Hugo suggère le moulage d'un animal par les hommes préhistoriques « peut-être que comme ils étaient pas très très intelligents, ils prenaient, ils avaient un petit peu de terre, ils prenaient un animal et pouf ils l'écrasaient dessus. Et ça faisait des traces... » (Annexe 4, occurrence 60). Et il y a aussi l'hypothèse d'un processus différent de fossilisation entre les animaux terrestres et les animaux aquatiques par Mathieu « Aussi y a plusieurs formes de fossiles ils peuvent, parce que sur la terre ils peuvent se former autrement que sur dans la

mer ! » (Annexe 4, occurrence 90). Le système explicatif est loin d'être fermé à ce moment du débat.

Des contraintes identifiées à leur catégorisation

Les interactions langagières retenues peuvent soit fermer le problème par une objection ou une impossibilité démontrée complémentaire (ces occurrences seront codées Cf. dans le tableau N°5 ci-après). Ou elles peuvent rebondir par une nouvelle idée ou une nouvelle solution à envisager et élargir le champ d'investigation (ces occurrences seront codées Po. dans le même tableau N°5 ci-après). Voyons un extrait du débat transcrit (Annexe 4) et suivons comment la catégorisation peut s'effectuer sous cet angle de **contraintes de fermeture et de possibilités d'ouverture au problème** de la cause artificielle dans la prise en compte des interactions langagières des élèves. Seules ont été gardés les parties d'occurrences des élèves qui dirigent le raisonnement dans la dynamique de construction du problème de la production ou non des fossiles par les hommes préhistoriques. Les occurrences interprétables dans ce sens par le chercheur, sont marquées en caractère gras (Tableau n°5 ci après). C'est donc un jeu verbal qui s'opère entre une **fermeture du débat sur les nécessités et une ouverture du débat sur les possibles**. Comment se construisent les nécessités de la nature d'ancien vivant, associée à une origine marine, tout en réfutant l'artificialisme ? Petit à petit la validation de la cause naturelle se resserre. Les **réfutations** répétées d'une cause artificielle vont s'enchaîner pour mener à la **conjecture** d'une cause naturelle.

En plus de la fonction effective des arguments, soit de fermeture soit d'ouverture du raisonnement par rapport au problème en construction, les arguments mobilisés par les élèves doivent aussi être cernés par leur nature pour être positionnés dans la schématisation d'un espace de contraintes et de possibles. Méthodologiquement la catégorisation requiert de repérer s'ils sont de nature empirique ou de nature explicative, représentant classiquement les deux pôles de la connaissance scientifique. Nous nous inspirons des **repères méthodologiques** proposés par C. Orange (2000, pp. 60-82) pour l'analyse d'un débat scientifique collectif en simplifiant la méthodologie. Nous retenons la catégorisation binaire de contraintes empiriques (CE), et de nécessités sur les modèles explicatifs (CM) ainsi que le lien ou tension problématique entre ces deux registres (CE-CM). Outre ces deux grandes fonctions épistémologiques dans la construction des raisons, nous ajouterons les contraintes théoriques (CT) et les possibles appartenant tous deux au registre des modèles explicatifs mais à un moindre degré de nécessité. La dernière catégorie, les probabilités, est caractéristique d'une dynamique d'une controverse qui oppose deux thèses et qui ne peut se décliner uniquement par des nécessités.

Ainsi **le registre empirique** comprend des objets, des phénomènes et des expériences familières des élèves. Il correspond à une connaissance d'un réel par l'observation, la mesure

et l'expérience sensible. Il a pu être développé antérieurement par les activités de tri en classe, préliminaires à ce débat. C'est pourquoi les élèves évoquent avec force l'ornementation détaillée des coquilles fossiles, la complémentarité de forme moulée entre la roche et la coquille, l'incrustation du fossile emprisonnée dans sa gangue rocheuse ou encore le morcellement d'un fossile récolté. L'évocation des traces, la grande taille de certains animaux fossilisés, et les moulages humains de Pompéi, sont plutôt liés à des connaissances médiatiques et personnelles de l'élève réinvesties dans ce nouveau contexte de problématisation. Les éléments du registre empirique ne sont donc pas reçus passivement comme l'entendent les sciences empiriques, ils ne sont pas donnés immédiatement comme l'entendent les sciences positivistes. Mais ils sont construits, mobilisés par les élèves selon la problématique spécifique et ils peuvent varier selon l'évolution de la problématisation.

Quant au **registre des modèles** il comprend des solutions explicatives des différents éléments du registre empirique, c'est-à-dire les tentatives d'explications plus ou moins fondées ou imaginées de la formation des fossiles. Reprenons un extrait du débat et appliquons lui notre double catégorisation : par rapport à la nature scientifique de l'argument, contrainte empirique (CE) ou contrainte des modèles explicatifs (CM) ou contrainte théorique (CT) ; et par rapport à la fonction de l'argument dans la controverse, contrainte de fermeture (Cf) ou possibilité d'ouverture (Po).

Tableau N°5 : Extrait d'une controverse scolaire artificialiste sur l'origine des fossiles, catégorisant les interventions des élèves selon la nature ou la fonction des arguments avancés

Numéro d'occurrence	Interactions langagières élèves	Catégorisations
40	E (Alice) : Ils auraient pu tailler la pierre !?	CM Po
42	E (Mathieu) : Mais aussi ils peuvent pas tailler la pierre parce que desfois c'est un gros heu beaucoup desfois on voit que ça ressort et desfois c'est incrusté dans la pierre . Donc c'est impossible qu'ils le font . Et on a retrouvé des animaux qui vivaient à la préhistoire et ils étaient sur des fossiles...	CE Cf CE
44	E (Vincent) : Mais heu mais comment ils ont pu disparaître ... les fossiles, ils peuvent pas les dinosaures ils peuvent pas disparaître comme ça d'un coup ? !	CT autre problème
46 (8')	E (Hugo) : Mais heu ...les fossiles ça peut pas être les hommes préhistoriques qui les ont taillés, c'est les animaux qui ...au bout du temps ils ont été dans de la boue, ou de la terre, et pis à force elle a séché la terre et puis c'est devenu de la pierre et puis ils ont du faire on sait pas comment mais ils ont, ils sont ... y a quelque chose qui fait qu' ils se sont incrustés dans la pierre . Et puis y a la trace dans la pierre...	CM Po CM / CE
48	E (Emma): Mais aussi c'est pas possible car les animaux ils sont pas petits comme sur la pierre pis après <i>aller</i> dans la boue parce qu' ils sont quand même plus gros qu'un caillou .	Cf CE
50	E (Antoine): Ca peut être des bouts de pierre et des bouts de pierre entière aussi ... pour former un fossile XXX	CE Po
51 (9')	E (Vincent) : Les fossiles heu ils heu ils sont, aussi les hommes préhistoriques ils les ont fabriqué, ils les ont fabriqué pourquoi? Ils auraient pu les laisser <i>puisque</i> c'est eux qui les ont fait//	Cf
53	E (Vincent) : Et pis aussi ils avaient d'autres préoccupations ils étaient pas assez intelligents pour pffff...	CT Cf
	[...]	
60	E (Hugo) : Mais heu les...Déjà ça peut pas être les hommes de Cro-magnon qui les ont taillés parce que ils ont-ils ont pas assez d'expertise pour savoir bien tailler . Comme c'est rond et tout. Donc mais eux non plus. Ils peut-être... peut-être que comme ils étaient pas très très intelligents, ils prenaient, ils avaient un petit peu de terre, ils prenaient un animal et pouf ils l'écrasaient dessus. Et ça faisait des traces....	CT Cf CE CM Po CE
62	E (Rémi): Moi je crois que les fossiles ils se sont fabriqués par eux-mêmes . Alors au début ils sont jeunes tout jeunes, pis ensuite ils commencent à vieillir de plus en plus, et quand ils sont morts et ben il reste plus que la coquille par exemple ammonite .	CM Po CE
Les catégories de nature (CM ou CE ou CT) et de fonction (Po ou Cf) sont alignées en face des formulations des élèves retenues et mises en caractère gras		

Deux logiques explicatives s'affrontent, le modelage naturel ou la sculpture artificielle des fossiles. C'est de l'alternance entre des objections et des possibles que peu à peu émergent les nécessités convergentes vers une origine naturelle : nécessité d'un temps long de millions d'années, condition nécessaire mais insuffisante ; nécessité d'un autre état de la roche actuelle dure pour que le fossile puisse prendre forme; nécessité d'une formation simultanée et

endogène de l'animal fossilisé avec le sédiment originel. Quant au savoir-faire technique des poteries pour conserver la nourriture des hommes préhistoriques, c'est une contrainte théorique. Car elle permettrait d'expliquer par analogie une certaine habileté des hommes préhistoriques et elle est admise par consensus dans la classe. En croisant les deux axes d'analyse, nature et fonction des arguments, nous constatons que seules les raisons sous forme de nécessités apparaissent dans le registre des modèles explicatifs, l'apodicticité est bien une spécificité des problèmes scientifiques explicatifs. Quant au registre empirique c'est par les liens avec les éléments du registre des modèles explicatifs qu'ils prennent sens « C'est par l'enchaînement, conçu rationnellement, que les faits hétéroclites reçoivent leur statut de faits scientifiques » (Bachelard, 1949/2004, p. 123). Le rapport entre les arguments de preuve empirique et les arguments de preuve conceptuelle est intéressant à développer.

De la catégorisation à l'espace de contraintes en jeu, les liens entre les différents registres, empirique et des modèles, et le cadre épistémique

Les raisons que les élèves ont mises en jeu vont donc être schématisées sous forme d'un espace de contraintes organisé en deux registres, empirique et des modèles, soutenus par un cadre épistémique. Elles s'articulent selon deux types de liens, articulation simple et non orientée ou articulation de tension.

Le monde intelligible des idées et le monde sensible des expériences sont donc dissociés dans la représentation de l'espace de contraintes. Cette représentation est tout d'abord un véritable « dualisme épistémologique, qui disjoint présence sensible et détermination conceptuelle de l'objet : Sans la sensibilité, nul objet ne nous serait donné ; sans l'entendement, nul ne serait pensé (Critique de la raison pure, A51) » (Kant cité par Benoist, 2003, p. 312). Mais c'est pour mieux les cerner en les « réunissant dans une thèse de complémentarité : Des pensées sans contenus sont vides : des intuitions sans concepts sont aveugles » (ibid.). Aussi cette distinction des registres ne suppose aucun principe chronologique, ni logique, aucune antériorité, ni supériorité du registre empirique sur le registre des modèles comme la tradition philosophique empiriste le défend. Il faut penser ensemble expériences et modèles et n'accorder à l'expérience qu'un rôle sollicitateur de l'esprit humain pour résoudre une énigme et accomplir une tâche comme la tradition philosophique rationaliste le défend (Lecourt, 1974, p. 852). Expériences et modèles sont donc complémentaires pour atteindre la connaissance. **Les liens entre les contraintes empiriques et explicatives ne sont donc pas orientés** et sont visualisés par des traits simples. Il n'apparaît pas de sens explicite d'un raisonnement de type inductif ou déductif, des faits biologiques et paléontologiques vers un modèle explicatif, ou d'une théorie explicative vers la recherche de faits corroborant cette explication. La finesse des détails d'ornementation des coquilles fossiles, par exemple, intervient après l'idée d'une fabrication humaine en tant que contre-argument. Alors que la

complémentarité de forme entre l'animal fossilisé et la roche encaissante génère l'idée d'une formation simultanée et endogène du fossile dans l'encaissant. Par contre la cascade des nécessités schématisées semble révéler un certain ordre d'inférence. Le temps long permet de penser la pétrification d'un sable dans lequel a été enfoui la coquille d'ammonite (Mathieu, occurrence 90) ou le retrait de la mer (Rémi, occurrence 65) ou encore l'émersion d'une montagne (Hugo, occurrence, 115). Mais elles ne concernent que certains élèves et l'ensemble des corrélations liant ces nécessités n'est pas suffisamment explicite. En regard du savoir scientifique ces nécessités construisent la considération de la rareté du phénomène de fossilisation au vu des étapes multiples. Elles constitueront en conséquence des objectifs de connaissances à atteindre afin que toute la classe puisse reconstruire l'histoire exceptionnelle d'un être vivant au fossile mis à jour par le paléontologue via les nombreux processus de la fossilisation –mort, décomposition partielle, désarticulation, transport, enfouissement, et la fossilisation au sens strict appelée épigénèse ou diagenèse (Denys, 2002).

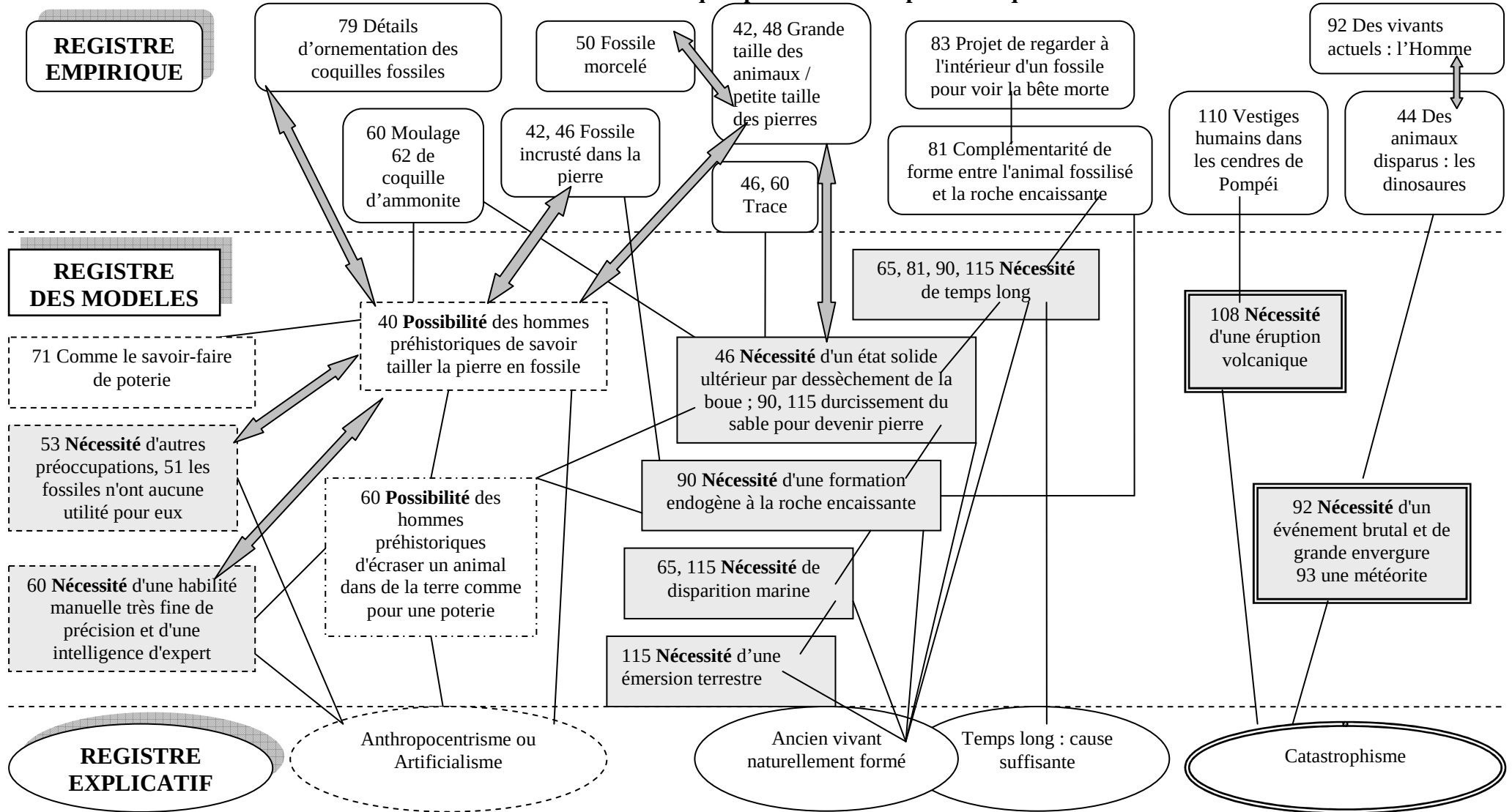
5. 3.3 Des mises en tension repérées au sein de l'espace de contraintes : représentation globale et analyse

En définitive l'analyse de l'enregistrement vidéo et sa transcription de la situation-débat à propos du concept de fossile aboutissent à une schématisation globale (Schéma N°4), que nous appellerons espace de contraintes et de possibles qui permet de visualiser et clarifier le cheminement intellectuel de la classe. Il envisage donc plus largement les arguments mobilisés que "l'espace de contraintes en jeu" restreint aux seules nécessités dans le registre des modèles explicatifs (Orange, 2000, p. 62). Les nombres affiliés à chaque argument représentent le numéro des occurrences retenues, pertinentes en lien avec le problème dans le temps de débat. De nombreux élèves ont participé, ce qui démontre bien que la problématisation est une co-construction conceptuelle. La situation de débat collectif permet de faire émerger des raisons qui apparaîtront comme nécessaires, impossibles ou comme possibles dans la recherche d'une solution par l'ensemble des élèves. Mais cette représentation est le résultat d'interprétations du chercheur, elle ne signifie pas la maîtrise et l'explicitation complète finalisée par tous les élèves. L'expert vise l'étude des **raisons potentielles problématisantes** et non une mesure de l'efficacité des séances de situation-débat, par le biais d'une évaluation individuelle des apprentissages. La problématisation consiste à mettre en tension un registre empirique et un registre des modèles explicatifs développés dans le temps d'un débat collectif. Par contre, ultérieurement, ces raisons catégorisées et leurs liens permettront de clarifier les interventions enseignantes fondamentales dans la gestion des débats scientifiques sur ce même concept de fossile.

Les désaccords argumentés sont repérés et constituent les nœuds du débat scientifique. La gestion didactique des contradictions voit son apogée par cette mise en tension (codée par une double flèche grisée) qui représente un fort potentiel de problématisation de ces épisodes de débat porteurs de controverses. Elles visualisent les explications scientifiques divergentes apportées par les élèves comme les préoccupations de survie supposées des hommes préhistoriques et par conséquent l'inutilité des fossiles qui s'oppose à leur fabrication humaine. Ou elles montrent les registres empiriques différents et contradictoires que les élèves repèrent sélectivement comme la différence de taille entre grands animaux et petits fossiles qui s'oppose au fait qu'un fossile puisse être morcelé. Ou encore elles articulent les deux registres, le registre empirique et le registre des modèles qui interagissent entre eux. Par exemple l'idée qu'un fossile puisse résulter d'une taille de la pierre par l'homme est mise en tension avec l'observation de fossile emboîté dans la roche. Par complémentarité le rapport de taille entre un gros animal et des petits morceaux de fossiles récoltés génère la nécessité d'un changement d'état de la roche, antérieurement de la boue dans laquelle un dinosaure aurait pu être enfoui. Cette double construction s'inscrit dans la philosophie rationaliste « le rationalisme est une philosophie qui n'a pas de commencement ; le rationalisme est de l'ordre du *recommencement*. [...] Ainsi les faits s'enchaînent d'autant plus solidement qu'ils sont impliqués dans un réseau de *raisons*. » (Bachelard, 1949/2004, pp. 122-123). L'espace des contraintes et des possibles ci-dessous révèle les corrélations simples et les mises en tension problématisantes par désaccord des élèves.

Schéma N°4 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES, un extrait de débat en CM1 :**

Les fossiles ont-ils été fabriqués par les hommes préhistoriques ?



Voici donc posées et articulées les mises en raisons sur l'origine des fossiles, reconstruites lors d'un premier débat par des élèves de dix ans. L'intérêt de cette représentation est double. D'une part comprendre l'entrée possible en raisons des élèves du cycle 3 de l'école primaire à partir du poids des idées et des faits perçus ou conçus par des élèves de cet âge ainsi que les corrélations qu'ils sont capables d'ébaucher ; et d'autre part éclairer l'enseignant sur les prises de décisions judicieuses pour soutenir un esprit scientifique rationnel. La maîtrise des idées et des faits transformés en raisons dans le débat est un objectif de première importance dans l'apprentissage scientifique « De l'enseignement scientifique de l'école, on retient les faits, on oublie les raisons et c'est ainsi que la "culture générale" est livrée à l'empirisme de la mémoire » (Bachelard, 1949/2004, pp. 123-124). En effet les élèves ont retenu les fossiles de coquilles d'animaux ou la disparition des dinosaures sur Terre mais ils n'ont pas construit ou ont oublié leur fonction première de marqueur chronologique liée à leur position respective dans les roches encaissantes. Les raisons d'un temps profond géologique, des paléoenvironnements marins, d'une roche à l'état meuble initial, différents de nos repères d'aujourd'hui, sont à reconstruire et sont amorcés dans ce débat collectif. De plus notons que c'est en dépassant les implicites et en transformant les impossibilités que pourra s'opérer véritablement le développement des nécessités accessibles pour les élèves dans les temps critiques du débat. Dans la légende de l'espace des contraintes, nous avons mis en avant les « **nécessités** » émergentes vers lesquelles tendent les élèves par consensus ou qui n'engendrent aucune contradiction. Elles seraient validées par les fondements scientifiques contemporains. Par contre nous avons laissé sous forme de « **possibilités** » deux des modèles explicatifs. Il existe une nuance entre ces deux possibilités gardées. La possibilité (occurrence 40) que les hommes préhistoriques taillent les fossiles comme d'autres poteries est mise en tension avec cinq arguments qui la font tendre vers l'improbable. Cette possibilité émise par une élève devient au fil de la discussion en définitive une **impossibilité**, contrainte par cinq contre-arguments. Alors que la possibilité (occurrence 60) de mouler un animal dans la terre malléable pour qu'il se fossilise n'est pas récusée et reste une proposition ouverte, une éventualité acceptée par les élèves. Elle n'exclut pas d'autres alternatives d'explication. Comment ces raisons ont-elles pu émerger dans la classe ? Deux voies semblent privilégiées en synergie de la problématisation, le développement d'une argumentation et d'un questionnement soutenus dans la lutte contre un obstacle prégnant.

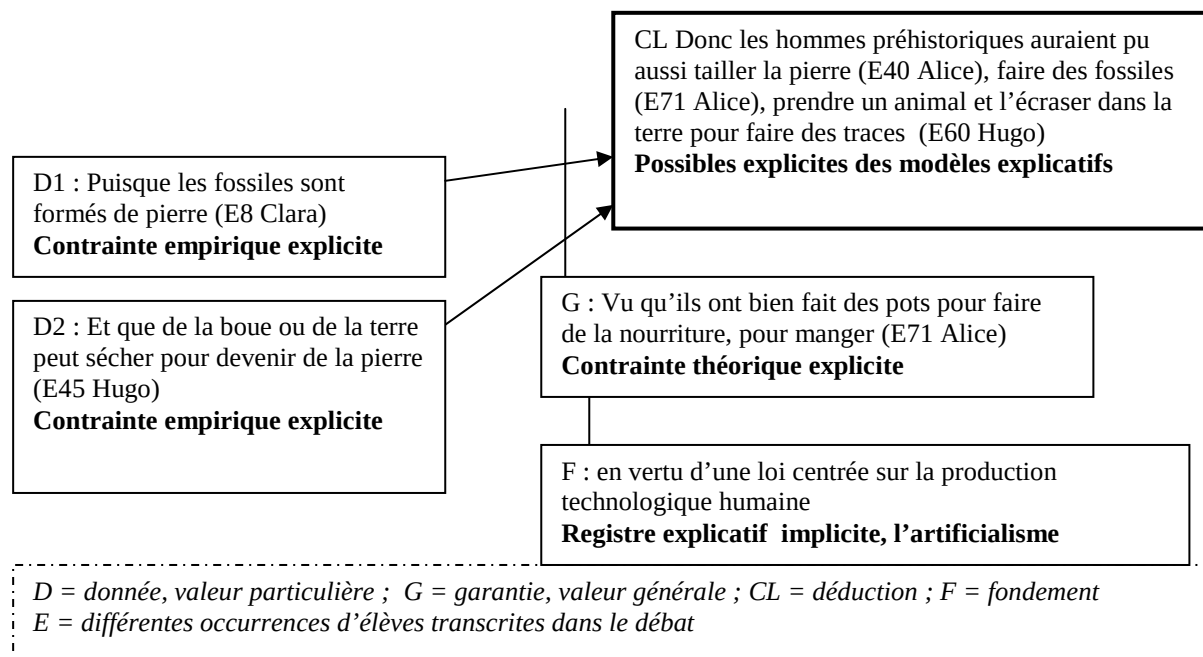
5. 4 Approche langagière

5. 4.1 Lien entre problématisation et argumentation : Les fonctions argumentatives des activités langagières dans la problématisation

Le développement d'une argumentation est le premier apprentissage repéré dans ces situations-débats. Il y a un **synchronisme non négligeable entre problématisation et activité langagière** « La problématisation scientifique est donc nécessairement liée à un travail langagier ; celui-ci n'en est pas un épiphénomène » (Orange, 2005a, p. 81). Le problème perçu est explicité par les élèves, il est scientifiquement construit grâce à une mise en texte. Une double analyse épistémique et langagière est donc intéressante pour cerner la dynamique de problématisation. Les controverses sont bien des moments privilégiés du débat qui développent l'argumentation car les désaccords obligent les locuteurs à aller plus loin dans la justification de leurs points de vue respectifs. Ce sont les moments les plus intéressants du fait que la problématique est véritablement prise en charge par les élèves. Aussi c'est **l'activité argumentative** qui construit l'espace-problème et **génère des « noeuds argumentatifs »** (Fabre, 1999a, p. 203). Dans notre débat l'alternative entre la cause naturelle ou artificielle des fossiles peut être étudiée comme une négociation argumentée entre les différents locuteurs. Leurs opérations logico-discursives peuvent être schématisées puisque « toute argumentation relève d'une schématisation » (Grize, cité par Fabre, 1999a, p. 200). Malgré l'intérêt de la notion de négociation par Grize, nous retiendrons plutôt la schématisation de Toulmin et le processus d'argumentation de preuve décelée à travers la logique d'une controverse. En effet l'installation d'un débat scientifique et non pas d'opinion en classe est montrée par toute l'argumentation spécifique en sciences.

Voyons comment les élèves se calent dans les règles de la logique. Les deux exemples qui suivent sont complémentaires. L'un illustre une logique de probabilité de l'origine artificielle des fossiles, manifestation explicite de l'obstacle artificialiste. L'autre illustre une logique de réfutation conduisant à la conjecture d'une origine naturelle des fossiles. Le premier exemple manifeste la construction d'une argumentation collective en faveur de la production humaine des fossiles, schématisée ci-dessous.

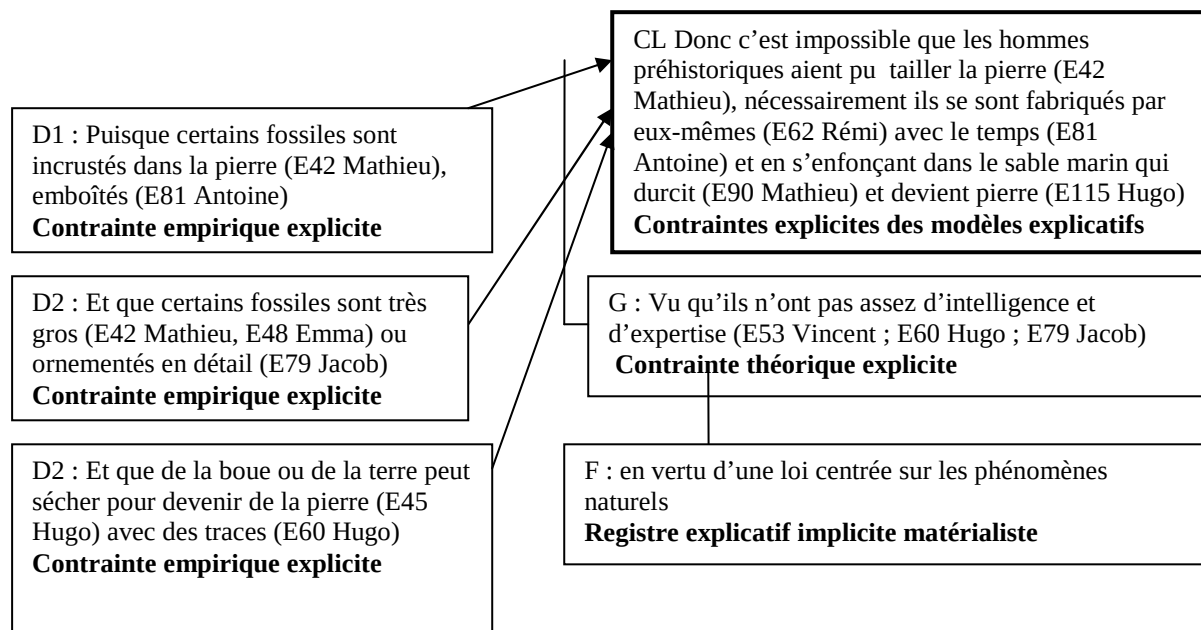
Schéma N° 5 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE**
en faveur de l'origine artificielle des fossiles



Les données empiriques singulières prises en compte par les élèves sont en rapport avec l'état de la matière. Soit l'élève Clara considère le fossile dans son état de dureté actuel immuable et en conséquence une autre élève Alice peut rebondir et elle en déduit la fabrication technique possible de taille de la pierre. Soit encore un autre élève Hugo considère un état différent antérieur de la matière rocheuse, sous forme de boue plastique ou de terre meuble. Et en référence aux poteries archéologiques bien connues rappelées par Alice, il déduit le modelage par impression d'un animal comme autre procédé de fabrication humaine. C'est un compromis conceptuel qui se voulait consensuel entre les deux thèses, artificielle et naturelle, sur l'origine des fossiles. Mais les autres élèves ne l'ont pas suivi dans cette voie (Annexe 4). Tous les éléments de ce raisonnement s'intègrent dans une conception globale survalorisant la place de l'homme et de ses techniques pour expliquer le monde environnant.

Le second exemple manifeste la construction d'une argumentation collective en opposition à la production humaine des fossiles et en faveur de leur origine naturelle, schématisée ci-dessous.

Schéma N°6 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE**
en faveur de l'origine naturelle des fossiles



*D = donnée, valeur particulière ; G = garantie, valeur générale ; CL = déduction ; F = fondement
E = différentes occurrences d'élèves transcrites dans le débat*

Nombreux sont les élèves mobilisés et plus nombreux sont leurs arguments empiriques : la présence d'un fossile à l'intérieur d'une roche, la taille parfois gigantesque des restes de dinosaures, la finesse des ornements des coquilles fossiles, un état changeant de la matière rocheuse. Tous convergent vers l'impossibilité d'une fabrication humaine des fossiles. D'autant plus que par consensus théorique les élèves garantissent le « manque d'intelligence » supposé des hommes préhistoriques. Peut-être font-ils référence aux volumes différents de la boîte crânienne des hominés⁷¹ associés à leurs outils plus ou moins élaborés. Nombreuses sont les iconographies des lignées humaines qu'ils ont pu rencontrer dans leurs livres d'histoire, ou médiatisées comme une échelle du progrès vers une humanité en marche dont les représentations même humoristiques parfois sont lourdes de préjugés (Gould, 1991, pp. 27-35). Et par voie de conséquence de ces arguments, les élèves recherchent une ou plusieurs causes naturelles nécessaires indépendantes ou non (un certain temps, un substrat meuble, un processus de durcissement).

⁷¹ Hominés : nom actuel regroupant les primates bipèdes à pouce opposable, comprenant les hommes actuels et fossiles des genres Homo et Australopithecus. L'ancienne terminologie parlait d'hominidés (Foucault et Raoult, 1995, p. 151-152). Dans l'édition de 2005 le terme d'hominidés est redonné en priorité (p. 173) D'après les nouvelles représentations phylogénétiques et les caractères dérivés propres à chaque nœud d'embranchement, le terme d'hominidé est élargi aux gorilles et chimpanzés (Lecointre et Le Guyader, 2001, p. 471 et p. 488)

5. 4.2 Lien entre problématisation et questionnement d'élèves

Les authentiques problèmes intéressants, « Ce sont ceux que le sujet doit poser, construire et résoudre lui-même » (Fabre, 2006, p. 19). Or poser et construire le problème s'accompagne d'un questionnement partagé pour apprendre « Problématiser, c'est discuter en amont pour soulever ou poser la question conjointement valorisée » (Maulini, 2005b, p.27). La schématisation de l'espace-problème sous forme d'une macrostructure du débat (Schéma N°2 et Annexe 7) intègre le questionnement des élèves dans un système de réponses et d'objections. Nous voulons ici insister sur la richesse et la pertinence du questionnement explicite des élèves. Si l'enseignant garde la responsabilité du choix du problème scientifique initial, qu'il n'abrutisse pas les élèves de ses questions magistrales et ne refoule pas leurs questions ! (Maulini, 2005a, p. 74). Et alors il peut survenir des moments magiques du débat scolaire où ce sont les élèves qui échangent entre eux du questionnement, laissant à l'enseignant le rôle secondaire de passation de parole et de médiateur du savoir (Annexe 4, extrait).

81	E (Antoine) : <i>Ben comme a dit XXX moi je pense pas que c'est la bête qu'est au milieu pis que ça emboîte pa'ce qu'après on voit qu'ça ressort. Alors moi je pense que c'est une bête, elle est morte elle reste pendant des millions d'années sur une pierre et après elle s'incruste au fur et à mesure.</i>
82	P : Armand ?
83 (12')	E (Armand) : Et ben en fait si tu coupes un fossile en deux, on va p't-être trouver la bête morte !? (<i>geste</i>)
84	P : Au milieu ?
85	E (Armand) : Oui
86	E (Emma) : Mais en fait comment ça prend la forme dans la pierre ?
87	P : Emma
88	E (Emma) : Non, c'est bon
89	P : Mathieu
90	E (Mathieu) : Aussi y a plusieurs formes de fossiles ils peuvent, parce que sur la terre ils peuvent se former autrement que sur dans la mer ! Dans la mer ils peuvent s'incruster dans le sable, le sable il durcit au cours des millions d'années et après ça commence à ... à devenir une pierre et après on le retrouve au fond de l'eau comme les amanites. Donc quand elles sont mortes elles s'enfoncent.
91	P : Vincent
92	E (Vincent) : Mais les les fossiles y a dû y'avoir un événement pour qu'ils disparaissent tous d'un coup parce que les humains aussi ça fait très longtemps qu'ils existent...Et ben ils sont pas tous morts et sont pas devenus des fossiles.
93	E (Hugo) : Mais y a eu une météorite qui est tombé sur la terre et //
94	E (Vincent) : <i>Quelle météorite ?</i> Oui mais ça comment tu peux le dire ?
95	E (Hugo) : Ca été ça été prouvé scientifiquement !

Dans ce court extrait trois élèves participent à la discussion collective en explicitant un questionnement qu'ils se sont construits. Soit l'élève interagit directement avec la proposition précédente d'un de ses pairs. Ainsi Armand, en désaccord avec Antoine, lui répond en suggérant de vérifier si un fossile contient ou non un animal mort. Et Vincent transforme en

questionnement l'affirmation d'Hugo en ouvrant sur la méthodologie des scientifiques prouvant l'impact d'une météorite sur Terre. Soit l'élève prend même du recul par rapport à l'ensemble des interactions langagières et met à jour un des problèmes scientifiques de la classe. C'est le cas d'Emma qui réalise à ce moment de la discussion une contrainte de la fossilisation, la nécessité d'être moulé et l'incohérence avec la dureté de la pierre actuelle. Ces élèves opèrent un changement de posture puisque de questionnés ils deviennent questionneurs. Malheureusement l'argument d'autorité des scientifiques apporté par Hugo bloque la discussion !

La diversité et la pertinence du questionnement des élèves sont remarquables tout au long du débat (Annexe 4, occurrences 4 à 116). Le tableau ci-dessous est construit d'une part en regroupant les questions par problème et d'autre part en déclinant en vis-à-vis de chacune des questions sa typologie de nature ou de fonction. Ses catégorisations sont inspirées du tableau de synthèse regroupant les différents travaux de didactique qui se sont intéressés aux types de questions des enseignants⁷² (Maulini, 2005a, p.39).

⁷² Légende rappelant les définitions utilisées par O. Maulini :

Question fermée : une seule réponse possible ; Question ouverte : plusieurs réponses possibles ; Question factuelle : invite à donner une information ou à nommer une chose ; Question de raisonnement : exige de l'observation, un raisonnement, la mobilisation de plusieurs ressources « comment ? » ; « pourquoi ? » ; Question de mise en relation : fait appel à des opérations de transformation de l'information

**Tableau N°6 : Typologies des questions d'élèves, explicitées lors de la controverse
artificialiste sur l'origine des fossiles**

Questions d'élèves (formulations)	Catégorisations du questionnement	Appartenance du questionnement à un problème scientifique
-Comment les hommes préhistoriques ont pu les fabriquer ? (Justine, E36) -Ils auraient pu tailler la pierre !?(Alice, E40) -Pourquoi ils les ont fabriqués !? (Vincent, E51)	Question ouverte de raisonnement Question fermée contenant la réponse Question ouverte de raisonnement	problème de la production humaine
-Et ben en fait si tu coupes un fossile en deux, on va p't-être trouver la bête morte !? (Armand, E83) -mais en fait comment ça prend la forme de la pierre ? (Emma, E86) -Comment la bête fait pour s'incruster dans la pierre (Emma, E112)	Question factuelle d'observation Question ouverte de raisonnement Question fermée de raisonnement	problème de la mise en forme d'un fossile dans une pierre
-Comment les fossiles, les dinosaures peuvent-ils disparaître ? - Peuvent-ils disparaître d'un coup ? (Vincent, E44) -Comment peut-on savoir que c'est la météorite qui a causé leurs disparitions ? (Vincent, E94)	Question ouverte de raisonnement Question fermée de raisonnement Question de raisonnement et de mise en relation	problème d'une catastrophe naturelle
Les fossiles ça a pas été au temps des hommes de Cro-magnon ? (Vincent, E26)	Question factuelle contenant la réponse négative	Problème des fossiles contemporains à l'homme

Les élèves ont été mis en activité, en mouvement de questionner. Mais loin d'être des questions spontanées au hasard, leurs formulations prouvent qu'ils rassemblent leurs pensées. Ce ne sont pas des questions lancées à tort et à travers mais véritablement des questions réfléchies par les élèves qui effectuent des opérations cognitives élevées de corrélation, de déduction. Ainsi ils tentent de cerner une problématique qui prend sens dans la classe et acquière toute légitimité. Moment merveilleux dans l'« espace logique de l'interrogation » d'une question partagée par la classe et l'enseignant selon « un détour pédagogique du moment de questionnement discutable » où l'élève librement interroge par rapport au questionnement institué de l'enseignant (Maulini, 2005a, pp. 133-134). La problématisation d'après l'auteur est à ce prix. Ce changement de posture de l'élève dans lequel les rôles de

questionné/questionneur sont inversés, est une « révolution épistémologique » (Soëtard ⁷³ cité par Maulini, 2005a, p. 57). Cette astuce rousseauiste est nécessaire à opérer pour un apprentissage effectif favorisant la curiosité, le sens critique et l'autonomie d'une pensée scientifique car « ce qui mobilise la réflexion des élèves, ce sont les questions qu'ils se posent et non celles de l'enseignement » (Altet, 1992, p. 55)⁷⁴. L'équilibre dans l'acte d'enseigner et d'apprendre proviendrait d'une « boucle de questionnement » et « ce qui change, c'est moins le pouvoir de la question que le sens de circulation » (Maulini, 2005b, p. 17).

Conclusion chapitre 5 : lien entre problématisation et travail sur l'obstacle artificialiste dans le cadre scolaire

La construction de raisons défendant la thèse d'une origine naturelle des fossiles s'est structuré finalement en s'opposant à la thèse d'une origine artificielle des fossiles. Comment le versant constructif et continu de la connaissance lors de la problématisation a pu aller à l'encontre du versant discontinu en rupture à la connaissance lors du travail sur l'obstacle artificialiste ?

L'obstacle artificialiste est présent individuellement avant le débat et collectivement pendant le débat. Neuf élèves pouvaient être concernés par cette typologie dans leurs conceptions initiales (cf. chapitre 5. 2). Cette fréquence initiale dans l'hétérogénéité de la classe, puis sa considération sérieuse par douze élèves le prenant en charge dans le débat comme problème envisageable, et même l'adhésion explicite à ce modèle explicatif par d'autres élèves que ceux repérés initialement (par exemple Alice, occurrence 71, Annexe 4) révèlent bien un obstacle à part entière qui participe au conflit généré au sein de la communauté scolaire. Offrir en discussion au groupe classe une production liée à une représentation où cet obstacle intervient, c'est permettre qu'il soit soumis à la critique empirique et conceptuelle sans jugement de valeur a priori. C'est permettre aussi de prendre conscience d'évidences personnelles non partagées, de les questionner, de les argumenter ou de les remettre en cause. La définition de modèles spontanés (Giordan, 1994, p. 81) s'apparente bien à cet obstacle repéré dans cette étude de cas. Les élèves dans un premier temps d'émergence de leurs pré-modèles explicatifs lancent librement et intuitivement une idée personnelle. Mais l'élève n'arrive pas forcément à l'explicitier plus avant (Annexe 4, Clara, occurrence 38). Dans le cadre théorique de la problématisation, **travailler sur un artificialisme naïf consiste à établir une rupture d'opinion** (Fabre & Orange, 1997).

⁷³ Soëtard, M. (2001). *Qu'est-ce que la pédagogie ? Le pédagogue au risque de la philosophie*. Paris : ESF. p. 14

⁷⁴ Altet, M. (1992). Une formation professionnelle pour l'analyse des pratiques et l'utilisation d'outils conceptuels issus de la recherche : modes cognitifs et modes d'ajustement. *Les sciences de l'éducation*, 1-2, 27-58

Cependant ces modèles spontanés peuvent être sous-tendus par un réseau d'arguments sous-jacents « constitués par une mosaïque d'informations plus ou moins structurées [...] à partir d'éléments extérieurs provenant de perceptions immédiates, de démarches empiriques, d'apports scolaires ou de médias » (Giordan, 1994, pp. 86 et 90). Alors l'identification d'une typologie d'appartenance du pré-modèle par le chercheur fait appel au troisième registre de l'espace des contraintes et des possibles (schéma N°4) que nous n'avons pas encore abordé, le registre explicatif, car il génère l'ensemble des arguments et il fonde une ou plusieurs grandes logiques explicatives. « Les obstacles épistémologiques ont donc un versant producteur de sens » (Johsua, 1989, p. 306). Dans ce cas c'est une rupture métaphysique qui devra s'effectuer et **travailler sur l'obstacle peut aussi consister à s'intéresser aux cadres épistémiques d'une problématisation** (Fabre & Orange, 1997). D'après J.-P. Astolfi et B. Peterfalvi, le travail sur les obstacles nécessite **trois moments essentiels, le repérage, la fissuration et le dépassement de l'obstacle** (1993, pp. 117-120). Cet extrait de débat, conçu à partir de la critique de la conception initiale de Clara (Annexe 5A) sélectionnée au préalable par l'enseignant, s'appuie aussi sur la prise de conscience et la déstabilisation de l'obstacle artificialiste par les élèves pour les mener vers la construction d'une conception alternative plus satisfaisante et consensuelle.

Le premier rôle de la problématisation vis-à-vis de l'obstacle a été de **questionner l'opinion** d'une origine artificialiste des fossiles puis le nouveau modèle explicatif entrant en concurrence, leur origine naturelle. Le second rôle de la problématisation vis-à-vis de l'obstacle est d'obliger les élèves, en désaccord avec l'idée d'une production humaine, à **décliner des contre-arguments** recevables par leurs pairs : la richesse et la finesse des ornements des coquilles fossiles, l'intégration d'un fossile à part entière dans une roche, l'un et l'autre peuvent présenter des formes complémentaires d'emboîtement. Les éléments de l'argumentation en opposition au cadre artificialiste fonctionnent en synergie d'une argumentation en faveur du registre explicatif naturel mécaniste. Et plus la solidarité vis-à-vis de la fabrication humaine s'étend dans la classe, plus les autres élèves, en conflit avec cette conception, sont encouragés à la réfuter. Dans cet apprentissage social, en références aux positions de Vygotski, les concepts quotidiens porteurs d'obstacles résistent durement aux concepts scientifiques car ils ont une certaine pertinence et rationalité (Johsua, 2002). En conséquence **la résistance marquée de cet obstacle artificialiste et les interrogations qu'il génère, incitent à développer une contre-argumentation d'une origine naturelle lors d'une phase collective**. A la fin de la séance le consensus implicite d'une origine naturelle, ne rend pas pour autant obsolète l'artificialisme pour tous les élèves. En effet cette logique explicative réapparaîtra en cours de séquence dans diverses phases d'investigation (Cf. chapitre 5. 14). Rappelons juste que lors de la sortie à la manière trempée par les pluies abondantes des jours précédents, un élève Antoine modèle un bonhomme avec la marne rendue très souple et propose de fabriquer des fossiles (Annexe 8, occurrence 7). Ensuite lors

de la séance ultérieure de nombreuses hypothèses sont formulées à propos des morceaux de tiges d'encrines qui posent problème aux élèves car ils doutent que ce puisse être un fossile vu sa forme géométrique pentagonale. Armand ou Quentin à nouveau sollicite la participation des hommes préhistoriques « Peut-être que c'est l'homme de Cro-magnon qui l'a fait » (Annexe 9, occurrence 88). Contrairement à la première intervention, dans ces deux cas répétés, les autres élèves ne prennent plus en charge cette idée qui reste isolée dans la discussion. Même l'élève qui lance l'idée ne semble pas vraiment y croire, un sourire accompagnant sa remarque, comme lui fait remarquer à juste titre l'enseignant « Tu le dis avec un sourire jusqu'aux oreilles. C'est une hypothèse sérieuse ou non ? » (Annexe 9, occurrence 91). Nous pouvons supposer qu'ils ont été convaincus pour la plupart du peu de fiabilité de ce modèle explicatif artificialiste. La convergence des contre-arguments empiriques et explicatifs rend impossible la thèse artificialiste en même temps qu'elle rend acceptable la thèse d'une origine naturelle. Le troisième rôle complémentaire de l'obstacle par rapport à la problématisation est de **développer alors d'autres modèles explicatifs**, la cause naturelle sédimentaire ou l'évènement catastrophique –volcanisme ou écrasement-. Dans la mesure où les élèves sont positionnés dans une démarche heuristique, ils envisagent aisément d'autres possibles de formation fossilifère. C'est essentiellement les relations observées entre le fossile et la roche encaissante qui conduisent à une première nécessité, un état antérieur meuble d'un sédiment. Sable ou boue originelle aurait permis l'enfouissement d'un animal mort. L'origine naturelle devient un savoir paléontologique problématisé. Et une cascade d'autres nécessités progressivement s'ébauche pour structurer une histoire géologique synchrone entre l'ancien vivant et la roche solide sur une longue durée - présence d'une ancienne mer et vie d'une ammonite, disparition de cette mer et ensablement de l'ammonite, émergence des terres renfermant le fossile d'ammonite. La cohérence du modèle explicatif développé le rend fonctionnel et ceci peut conforter la thèse matérialiste.

Apprendre en sciences peut mener en parallèle à problématiser un savoir paléontologique et à changer de registre explicatif. Peut-on dire alors que l'obstacle, mis en avant par l'enseignant et donné en réflexion à la classe par le biais d'une production d'élève, peut devenir dans ce cas **moteur d'argumentation, de questionnement et donc aussi de construction de raisons ?** La problématisation serait ainsi portée par **l'opposition entre plusieurs cadres épistémiques**. Dans ce sens l'obstacle artificialiste est plus porteur de problématisation que l'obstacle catastrophiste⁷⁵ car le groupe classe ne se mobilise pas dans le débat à propos des catastrophes naturelles, causes de fossilisation ou de disparition des êtres vivants. Et en conséquence dans l'évaluation finale écrite nous ne constatons aucune réminiscence de cet

⁷⁵ Nous pouvons là encore parler d'obstacle épistémologique en référence à l'histoire des sciences. Cuvier influença de nombreux naturalistes dans ce sens. Mais il se distancie d'une thèse adjointe créationniste contrairement à ce qui lui est souvent accordé. C'est un de ses adeptes, Alcide d'Orbigny qui associe aux catastrophes multipliées à la surface de la Terre la nécessité de créations successives (Laurent, 2002, p. ; Furon, 1951, p. 66)

obstacle artificialiste dans les frises dessinant et commentant les étapes de la fossilisation. Alors que le volcanisme, non débattu en classe, resurgit chez trois élèves, Farès, Estelle et Vincent, ces deux derniers s'étant mobilisés dans le débat collectif pour faire valider un modèle catastrophiste (Annexe 4, occurrences 92 et 108). Ils dessinent toujours des volcans en arrière fond de la frise finale de structuration des connaissances acquises (Annexe 10A à 10C). Il est vrai que la distance cognitive au savoir validé du phénomène de fossilisation est plus grande avec la cause artificielle qu'avec la cause événementielle brutale. Restons aussi prudent sur la distance entre les savoirs construits avec autrui lors d'un débat et les savoirs réellement appropriés par chaque élève et qui les rendront opérationnels -autonomes et transférables dans un autre contexte- (Johsua, 2002). La condition didactique de genèse d'un débat par un registre explicatif unique (Orange, 2005a) ne peut être systématisée. Elle semble vérifiée par rapport au cadre catastrophiste qui reste effectivement écarté de la discussion collective, et elle semble réfutée par rapport au cadre artificialiste. Les élèves au cours d'un débat, et plus spécifiquement une controverse, naviguent entre plusieurs cadres épistémiques qui se répondent ou qui s'ignorent. « C'est donc bien le changement de paradigme qui doit s'imposer » pour mettre à bas « la solidité épistémologique des représentations construites » (Johsua, 1989, pp. 309-310). Outre la fonction didactique du débat d'ouvrir à un esprit critique -enchaîner des réponses et des objections, questionner le monde environnant, argumenter et construire des nécessités-, la controverse peut être aussi une étape pour conduire au franchissement d'obstacles. L'espace-problème affilié à l'espace de questionnement, l'espace de contraintes associé à l'espace d'argumentation sont les quatre registres méthodologiques que nous allons transposer maintenant sur une étude de cas historique manifestant une convergence avec l'obstacle artificialiste.

CHAPITRE 6 : PROBLÈMES EN DÉBAT ET OBSTACLE « ARTIFICIALISTE » RÉCURRENT JUSQU'AU XVIII^E SIÈCLE

L'obstacle artificialiste, aussi surprenant et incongru qu'il puisse nous apparaître de nos jours, a perduré longtemps dans la littérature naturaliste comme solution envisageable au problème de l'origine des fossiles. Deux écrits originaux ont été repérés en rapport avec ce mode de pensée : le premier est un **dialogue du XVII^e siècle écrit par Jean-Baptiste Du Hamel** qui expose cette idée d'origine artificielle, le second est une **lettre manuscrite de Jean-Etienne Guettard du XVIII^e siècle** combattant vivement cette hypothèse reformulée par Voltaire qui l'entérine. Ce sont finalement deux bornes choisies de la connaissance par rapport à l'origine récurrente artificielle des fossiles, non discutée pour les fossiles concernés au XVII^e siècle puis complètement dépassée et anachronique au XVIII^e siècle. La **distance épistémique entre ces deux textes** nous permettra de déceler les possibilités du franchissement de l'obstacle artificialiste. Un siècle les sépare et nous permet de mesurer la progression de la pensée scientifique sur ces objets fossiles tant du point de vue du contenu scientifique engagé -problématique de chaque époque, objets d'étude, méthodologie scientifique amorcée- que de la mise en forme de la discussion. En fait le premier dialogue qui traite non pas de la fossilisation mais de la pétrification, pourrait apparaître au premier abord comme marginal par rapport à notre objet d'étude des fossiles au sens moderne actuel. Mais le choix de le garder dans notre corpus se justifie pour les raisons suivantes. Il n'est pas artificiel de le prendre en considération dans la mesure où au XVII^e siècle, le terme de fossile comprenait « tout objet tiré des profondeurs de la Terre ». Et de plus il fait état de deux obstacles épistémologiques en rapport avec l'origine des pierres englobant donc celle des fossiles, l'artificialisme que nous allons étudier dans cette partie et la végétation des pierres que nous verrons dans la troisième partie. C'est pourquoi, même si le premier texte est de moindre intérêt par rapport à la notion de débat en paléontologie, puisque sa problématique porte essentiellement sur la formation des roches et leur dureté dans la domaine plus général de la minéralogie, il nous apporte un texte inédit qui nous servira de référence et de point de comparaison avec la controverse effective étudiée un siècle plus tard. Signalons aussi que le lien entre ces deux textes s'est effectué lors de notre recherche bibliographique en découvrant dans les notes manuscrites de J.-E. Guettard la référence à J.-B. Duhamel « Les bélemnites paroissent à Mr Duhamel être des pointes de flèches changées en pierre » (Guettard, n.d. post.1768b, f. 64r ; Annexe 11). Guettard devait passer en revue les conceptions anciennes sur l'origine des fossiles, et ébauchait ces notes en prospectant pour sa réponse à Voltaire qui appartient à la même référence des archives au Muséum.

6. 1 Extrait des dialogues galiléens de Jean-Baptiste Du Hamel, un état du savoir au XVII^e siècle à propos des bélemnites et autres fossiles

6. 1.1 Prémices d'une communauté savante discursive et mise en scène d'une science en débat

En Europe les nouvelles sociétés savantes et la multiplication des écrits scientifiques dialogués annoncent un bouleversement scientifique du XVII^e siècle. Toutes deux reflètent bien l'utilité ressentie **des échanges entre savants pour un savoir partagé** auxquels J.-B. Du Hamel (1623-1706) contribua amplement.

Il participa à la **création d'une communauté savante informelle puis institutionnelle en France**. Ce fut tout d'abord une fondation d'un groupe de savants, dépourvue de statuts, créée en 1666 par Colbert qui ne réunissait qu'un petit cercle de Physiciens lors de séances de travail bihebdomadaires. Du Hamel y collabora en tant que secrétaire perpétuel nommé dès la constitution de cette académie informelle, et il rédigea les procès-verbaux. S'il fut choisi c'est au vu de sa vaste érudition qui lui permettait « d'entendre les différentes Langues de tant de savans hommes, et recueillir tout ce qui sortiroit de leur bouche. » (Fontenelle, 1733/1996, p. 349). Puis en 1699, l'Académie Royale de Paris est instituée avec un nouveau statut sous l'ordre de Louis XIV. Ce renouveau institutionnel et scientifique est dû à la persévérance et au zèle au service des sciences profanes de Du Hamel (Costabel, 1986, p. 59). Elle constitua des nouvelles règles de fonctionnement fondées sur les communications entre savants ayant l'amour des Sciences, dont les savants étrangers de la Société royale de Londres et de l'Académie de Florence⁷⁶ « Rien ne peut être plus utile que cette communication, non-seulement parce que les esprits ont besoin de s'enrichir des vues les uns des autres, mais encore parce que differens pays ont différentes commodités et différens avantages pour les Sciences. La Nature se montre diversement aux habitans du monde ; elle fournit aux uns des des sujets de réflexion qui manquent aux autres ; elle se déclare quelquefois plus ou moins, selon les lieux ; et enfin pour la découvrir, il n'y a point trop de tout ce qui peut nous être connu. » (Fontenelle, 1733/1996, p. 349). Nous avons repéré une règle intéressante du corpus de 1699, instituant **une possible controverse seulement si elle est énoncée avec courtoisie** « L'Académie veillera exactement à ce que dans les occasions où quelques Académiciens

⁷⁶ La Société royale de Londres ou Royal society est l'équivalent de l'Académie des sciences de Paris. Cette association de scientifiques, disciples du renommé philosophe des sciences Francis Bacon (1561-1626) qui se réunissait de façon informelle depuis 1640, fut fondée en 1660 puis instituée par le roi Charles II en 1662 l'autorisant à la publication de livres. Ses compétences et ses attributions furent complétées par une charte en 1663. L'Académie de Florence (Accademia fiorentina) est une société savante italienne qui daterait du XVI^e siècle. L'Accademia del Cimento fut fondée en 1657 sous la protection de Ferdinand II de Toscane.

seront d'opinions différentes, ils n'emploient aucun terme de mépris et d'aigreur l'un contre l'autre, soit dans leurs discours, soit dans leurs écrits ; et lors même qu'ils combattrent les sentimens de quelques Savans que ce puisse être, l'Académie les exhortera à n'en parler qu'avec ménagement » (Fontenelle, 1702/1994, p. 60 Règle XXVI).

C'est dans ce **contexte d'une communauté savante discursive**, que **des écrits sous forme dialoguée furent publiés et renommés**. L'importance des discours ou dialogues philosophiques et scientifiques est mise en avant au XVII^e siècle sous l'influence de Galilée (1564-1642) qui publie à Florence son fameux dialogue⁷⁷ en 1632, et dans lequel il démontre la supériorité de l'hypothèse héliocentrique en ralliement aux thèses coperniciennes. Mais aussi tout savant est-il incité à la prudence dans ses écrits après le procès à Rome que subit ce dernier en 1633 par le Saint-Office de l'Inquisition qui le condamne pour hérésie, l'assigne à demeure et interdit son livre. **Les vertus pédagogiques de ces mises en scène littéraires dialoguées sont reconnues au XVII^e siècle** : convaincre un grand public conquis par l'art de cette rhétorique, élever ses lecteurs vers de nouvelles connaissances scientifiques (Boyle⁷⁸ cité par De Hosson, 2004, pp. 180-181). Et après la controverse de la mécanique céleste, le milieu du XVII^e siècle voit se développer des dialogues dans les écrits scientifiques classiques. **Du Hamel met donc en scène les connaissances controversées en minéralogie** tout comme son contemporain, Boyle, le fera l'année suivante dans le domaine de la chimie. Sans doute sa carrière enseignante importante l'avait sensibilisé à ce genre littéraire, puisqu'il dispensa de nombreuses années un enseignement de philosophie et de théologie. Le caractère didactique de son œuvre démontre sa préoccupation de toucher un large public sur l'état de sciences et des controverses philosophiques de l'époque suscitées par Descartes (Costabel, 1986). Il a écrit et fait éditer en 1660 un dialogue *De meteoris et fossilibus, per dialogos* qui a fait sa renommée par un assemblage didactique judicieux des pensées des Anciens et des Modernes (Fontenelle, 1706, p. 144). Du Hamel avait réussi à faire garantir par un privilège exceptionnel du roi « que les ouvrages qui sortiraient de ses mains seraient écrits en latin et ne pourraient être traduits en français qu'avec son autorisation, ce qui n'arriva jamais » (Costabel, 1986, p. 61). Sa fonction de professeur de philosophie grecque et latine au collège royal de France depuis 1657, sa culture vaste de toutes les sciences -astronomie, minéralogie, chimie, physique, biologie- son goût des textes anciens, devait l'incliner à encourager la langue latine. Il n'envisageait donc pas de le traduire lui-même, peut-être ne maîtrisant pas avec autant d'aisance la langue nationale orale française. Ce choix lui valut sans doute de rester en retrait par la suite même si la langue latine universelle écrite lui assura des lecteurs en France et à l'étranger à son époque. En effet les bouleversements de la science s'accompagnèrent, non seulement par des transformations des méthodes et des techniques,

⁷⁷ Galilée, G. (1632/2000). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. Paris : Seuil.

⁷⁸ Robert Boyle, chimiste, en 1661 publie *The Sceptical Chymist* où il met en scène une controverse entre la théorie aristotélicienne des quatre éléments et la théorie du phlogistique

mais aussi par des changements dans les habitudes du langage et le choix de la langue française traduisait la modernité (Fontenelle, 1702/1994). Le livre de Du Hamel fait partie actuellement des collections numérisées de la Bibliothèque Nationale de France, toujours en latin. Du Hamel, de par ses fonctions successives de professeur de philosophie puis de théologie à l'Oratoire⁷⁹ de 1643 à 1653, avait une sensibilité aux sciences et désirait recentrer la physique qui se dispersait en astronomie, mécanique, optique, chimie, physiologie « La Physique appauvrie & dépouillée n'avoit plus pour son partage que des Questions également épineuses & steriles. M. du Hamel entreprit de lui rendre ce qu'on lui avoit usurpé, c'est-à-dire une infinité de connoissances utiles & agréables, propres à faire renaître l'estime & le goût qu'on lui devoit » (Fontenelle, 1706, p. 143). D'après Fontenelle, la pureté de son latin et la rhétorique de son discours rappelleraient l'art oratoire de Cicéron⁸⁰ qui lui aurait servi de modèle.

Aussi comme ses contemporains, **J.-B. Du Hamel met en scène un dialogue à trois personnages qui oppose les pensées des philosophes anciens et modernes** sur les théories célestes, les météores puis les pierres. L'index de l'ouvrage latin de 1660 nous a permis de repérer quelques noms de fossiles et le terme générique de pierre figurée « Lapidum figurae » qui nous laissait espérer de cerner le concept de fossile dans les théories débattues. Deux chapitres du livre ont été repérés et nous servent de corpus pour cette recherche. Avec l'aide précieuse de R. DufLOT⁸¹ ils ont été traduits : le chapitre 6 **sur la formation des pierres** (Du Hamel, 1660, livre 2, pp. 183-200 ; Annexe 12) et le chapitre 7 **sur la diversité des pétrifications intégrant quelques fossiles** qui nous intéressent (Du Hamel, 1660, livre 2, pp. 205-211 ; Annexe 13). Le dialogue est structuré sur le même scénario que celui de Galilée qui voulait opposer le système géocentrique aristotélicien, reconnu par la théologie comme référence universelle, au système héliocentrique copernicien. Les trois interlocuteurs étaient, l'aristotélicien Simplicio, le copernicien Salviati auquel s'identifiait Galilée et un médiateur Sagredo représentant un public cultivé prêt à être convaincu par la nouvelle théorie. Nos trois interlocuteurs ici sont Ménandre, Théophile et Simplicius.

⁷⁹ Oratoire : congrégation de prêtres fondée à Rome en 1575. L'Oratoire de France fut fondé en 1611 par le cardinal de Bérulle sur le modèle de l'Oratoire italien. Les maisons sont autonomes et tiennent un congrès tous les dix ans. Du Hamel fut curé de Neuilly-sur-Marne en 1653 et chancelier de l'évêché de Bayeux en 1663. Un des reproches qu'il se faisait d'ailleurs, était « *d'être Ecclésiastique et de donner tout son temps à la philosophie profane* » (Fontenelle, 1706, p. 147)

⁸⁰ Cicéron (-106 à -43), homme politique et excellent orateur latin. Ecrivain de qualité, il a porté l'art oratoire latin à son apogée dans ses plaidoiries composées à l'occasion de procès et dans ses discours politiques (quatre-vingt huit sont connus). Il a élaboré une théorie romaine de l'éloquence comme mode d'expression et moyen politique. Toute la rhétorique latine a pris comme modèle la composition de ses discours et son célèbre « docere -prouver-, delectare -plaire-, movere -émouvoir- ». Dans ses traités philosophiques, il chercha à concilier les différentes écoles de son époque -épicurienne, stoïcienne, académique-.

⁸¹ R. DufLOT, documentaliste passionné de textes anciens grecs et latins, a traduit et fait paraître les « Fables ésopiques » de Babrius (2004). Paris : Arléa. Babrius, poète vers la fin du I^{er} siècle après J.-C., créa des poèmes en transformant les fables d'Esopé. Il donna naissance à un nouveau genre littéraire, la fable indépendante de tout contexte en coupant les fables de tradition ésopique de leur origine orale et populaire et en leur enlevant leur fonction utilitaire

Voyons la fonction épistémologique repérée de chacun des personnages à travers ces extraits sélectionnés de minéralogie. **Ménandre**, homme d'esprit **cartésien**. Il se défend en ouverture du chapitre six de toutes protestations contre son maître à penser

« un ouvrage du seul Descartes surpasse les bibliothèques de tous les Philosophes, autant par la qualité du raisonnement que par les ressources de l'invention. Il emploie des termes qui ne lui appartiennent pas en propre, qui ne sont pas incorrects, mais courants et communs à tous ; les principes de toutes choses, l'ordonnement du monde, les mouvements des astres, et tous les ouvrages de la nature, il les présente de façon si claire, qu'après lui, il ne reste plus qu'à se taire dans la plus grande modestie » (Du Hamel, 1660, livre 2, pp. 183-184 ; Annexe 12).

Nous pouvons supposer qu'il s'appuie sur la quatrième partie du fameux ouvrage de Descartes (1596-1650), *Les principes de la philosophie*, publié en 1644 et traitant de la structure de la Terre, des marées, des sources, du feu, du verre et de l'aimant décliné par trente-quatre propriétés ! (Descartes, 1644/2000). Ménandre est entièrement conquis par ce philosophe dont il rappelle dans un développement conséquent l'opinion cartésienne sur le magnétisme (Du Hamel, 1660, livre 2, pp. 200-204). Du Hamel tentera d'ailleurs d'intégrer le cartésianisme dans l'enseignement universitaire du collège de Bourgogne par un ouvrage publié en 1678 (Limouzin-Lamothe, 1970). En s'inspirant encore des écrits de Descartes qui lui ont valu tant de gloire en s'affranchissant de la scolastique, lui aussi veut par la méthode « bien conduire sa raison, & chercher la vérité dans les sciences ». Ici par la voix de Ménandre, il alerte sur les dérives loquaces des philosophes qui s'égareront petitement dans le sens des mots et perdent de vue la grandeur des vrais problèmes liés à la compréhension des objets de la nature. Le summum de cette dérive de la connaissance, selon lui, semble être atteint par les Chymistes⁸² car ils sont capables « d'inventer tous les jours encore de nouveaux mots ; de sorte qu'ils ne sont pas tant découvreurs de choses que de mots » (Du Hamel, 1660, livre 2, p. 183 ; Annexe 12). Une méfiance est donc positionnée d'emblée contre la méthode des chimistes et toutes ses entités mystérieuses.

Théophile, représente les anciens philosophes et leur art d'un verbiage, réservé à une seule communauté fermée, contre lesquels s'insurge avec prudence et diplomatie Ménandre. Il connaît les textes antiques et modernes du XVII^e siècle. Il récuse la référence à Descartes sur

⁸² Le terme Chymici est employé dans le texte original avec un y qui traduit une étymologie grecque ; or il n'a aucune correspondance dans les dictionnaires latins antique (Gaffiot, 1934/2000) ou médiéval (Dusfresnes, C., sieur Du Cange, (1678). *Glossarium mediae et infimae latinitatis*. In site américain : //standisch.stanford.edu). D'après Hiraï, (2003, p. 211) ce terme veut marquer l'amalgame entre la chimie comme science exacte et l'alchimie comme pseudo-science, la frontière entre ces deux domaines n'étant pas encore effective au XVII^e siècle. Cette terminologie péjorative de pseudo-science est controversée. Les deux termes, chymie et alchymie sont synonymes encore jusqu'au XVII^e siècle, le préfixe arabe « al » signifiant « La » et non pas « l'excellence » recherchée dans la transmutation des métaux (Newman, W. & Principe, L. (1998) *Alchemy versus chemistry. Early science and medicine*, vol. 3, 32-65). De plus cette orthographe est encore utilisée par Rouelle au XVIII^e siècle et Venel dans son article « chimie » de l'Encyclopédie décrit l'ouvrage de Libavius (1597) comme le premier véritable ouvrage de chimie. La distinction entre les deux serait un produit du siècle des lumières. Les savants veulent faire émerger la chimie comme une nouvelle discipline, pure et rationnelle - distillations, cristallisations, préparations d'acides de sels ou produits pharmaceutiques- en opposition à une alchimie impure imprégnée de théologie et de cosmogonie (Lecornu-Lehman, 2006)

le fait qu'il n'a que très légèrement abordé les objets souterrains et les fossiles⁸³. Comme il détient les savoirs, c'est lui qui exposera la plupart des différentes idées et controverses en rappelant dans un développement la formation des pierres -exhalaison sèche, force plastique- selon les disciples d'Aristote ou péripatéticiens (ibid., p. 190). Il s'appuie en partie sur les théories d'Avicenne et d'Albert le Grand⁸⁴ (ibid., p. 184) qui ont pu contre-argumenter Aristote. Pouvons-nous alors le qualifier d'**aristotélicien moderne** ?

Simplicius, quant à lui, représente **le médiateur**. Sans doute incité à la prudence après la condamnation de Galilée en 1633, le nom de ce personnage n'induit pas l'errance dans la connaissance mais le novice entre les deux partis, de tendance cartésienne ou aristotélicienne. Il les fait argumenter pour terminer lui-même au chapitre six par des idées plus novatrices empruntées aux chimistes. Il est d'ailleurs présenté comme le patron des chimistes par Théophile (ibid., p. 189) dont il critique les idées « mais tu as l'habitude d'être irrésolu dans tes principes. Sans doute, je pourrais facilement pardonner à ton esprit versatile, si tu ne traitais pas très outrageusement ceux qui pensent autrement que toi. Mais peut-être, convaincu et entraîné par la vérité même, tu as été déçu par l'opinion des Chimistes » (ibid., p. 198). Du Hamel s'identifierait à ce dernier d'après Fontenelle

« les Personnages sont Théophile, grand zéléateur des Anciens, Ménandre, Cartésien passionné, Simplicius, Philosophe indifférent entre tous les partis qui le plus souvent tâche à les accorder tous, & qui hors delà est en droit par son caractère de prendre dans chacun ce qu'il y a de meilleur. Ce Simplicius ou M. du Hamel, c'est le même homme » (Fontenelle, 1706, p. 143).

Il est vrai que la lecture de ce dialogue nous donne l'impression que Du Hamel veut concilier les différentes théories cartésiennes, aristotéliciennes et chymiques en mettant en avant la quintessence de chacune à considérer. Mais l'étendue des connaissances de Du Hamel et son inclination reconnue pour la chimie ferait cependant pencher le choix du lecteur vers les démonstrations et la physique expérimentale des chimistes.

⁸³ Descartes admettait le mouvement de la Terre et des planètes parmi d'autres corps célestes fixes dans sa théorie des tourbillons rejetant le vide. Et s'il aborda les corps terrestres c'est par rapport à leurs propriétés vis à vis de la lumière « ... et en particulier de tous les corps qui sont sur la terre, à cause qu'il sont ou colorés, ou transparents, ou lumineux ; et enfin de l'homme à cause qu'il en est le spectateur » (1637/1863). *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité*, Paris, Editions Dezobry, p. 54

⁸⁴ Avicenne (980-1037) Médecin, philosophe iranien écrivant en arabe a été traduit en latin en 1200 par Alfred de Sareshal sous le titre *De mineralibus* qui fut malencontreusement attribué à Aristote du fait de la considérable influence de ce dernier. Mais cette traduction partielle omit des passages fondamentaux sur les anciens séjours des mers et sur la structure stratifiée du sous-sol.

Albert le Grand (1206-1280) Evêque, philosophe, théologien et savant –astronomie, mathématique, médecine, monde animal et végétal- qui repris les textes anciens d'Aristote en les commentant par rapport à ses propres observations et critiques

6. 1.2 La place des fossiles au sens moderne dans ce dialogue à dominante minéralogique

Chacun des interlocuteurs expose ou démontre certains points de vue de savants antiques ou médiévaux en les complétant ou les réfutant. Mais leur problème principal à débattre n'est pas la fossilisation mais la pétrification par « une enquête plus approfondie sur la nature et la génération des pierres puis des métaux (ibid., Théophile, p. 184) ». Ainsi quand Ménandre prend la parole lors d'un long monologue au chapitre sept, c'est afin d'« **exposer l'histoire des pierres** » (Du Hamel, 1660, livre 2, pp. 205-211 ; Annexe 13, Simplicius, p. 205). Il intègre simplement dans son long répertoire quelques « figures de pierres » qu'il a regroupées car ce sont « **des pierres auxquelles on attribue une forme certaine** » c'est-à-dire de forme bien identifiable, régulière et répétée dans la nature. Elles sont mélangées parmi d'autres pierres ou minéraux –talc, schiste, porphyre, silice, marbre, albâtre, etc-. Elles ne sont pas différenciées des autres pierres quant à leur nature et leur origine. Mais elles sont rassemblées en priorité selon leur forme et secondairement selon leurs usages médicaux. Le tableau ci-dessous reprend la diversité des fossiles retenus par Du Hamel (ibid., pp. 209-211 ; Annexe 13). Le regroupement effectué par J.-B. Du Hamel montre une **corrélation entre le monde minéral et le monde technologique ou le monde vivant**.

Tableau N°7 : Des « pierres figurées » de Du Hamel (personnage de Ménandre)

Nom des fossiles dans l'ordre donné par Ménandre	Interprétations données par Ménandre	Mode de pensée mobilisé	Interprétation actuelle par rapport aux fossiles
Osteocolla	<i>-reproduit un os brisé, un os transformé en pierre - semblable à un tronc d'arbre, une sorte de plante</i>	Analogie aux vivants ou parties de vivants Usage médical	tufs calcaires poreux remplis de canaux cylindriques qui résultent de l'encroûtement calcaire de tiges de végétaux qui ont disparu, dépôts fréquents formés dans les sources karstiques.
Corne fossile ou Cératites	<i>-marne ou moelle de terre, durcie par le suc lapidifiant. -liquide laiteux et gras qui enduit les branches d'arbres</i>	Usages médicaux	« enduit de cire » /traduction latine, signification différente des fossiles céphalopodes, Cératites, ammonoïdés du trias
Cornes d'Ammon	<i>corne de béliar rapprochée des cornes de boeuf</i>	Analogie aux parties de vivants	Ammonites, coquille univalve de céphalopodes marins uniquement fossiles proches des nautilus actuels
Glossopètres	<i>une langue de serpent</i>	Analogie aux parties de vivants	Dents de requins
Pierres de tonnerre ou flèches de foudre : Pierre céraunie	<i>-coins, haches, marteaux ou autres instruments de même genre transformés en pierres</i>	Analogie à l'instrumentation humaine	Outils préhistoriques
La brontée	<i>-carapaces de tortues récemment vidées et changées en pierres par le souffle de Gorgone</i>	Analogie aux parties de vivants	Pyrite de fer radiée ou tests de fossiles d'oursins (spatangues)
Bélemnites ou pierres de tonnerre	<i>des pointes de flèches, qui, par l'esprit ou le suc lapidifiant ont été transformées.</i>	Analogie à l'instrumentation humaine Usage médical	Rostre de céphalopodes marins uniquement fossiles proches des seiches actuelles
Pierre judaïque	<i>-un noyau d'olive -diverses lignes placées à intervalles égaux entre elles gravées dans cette pierre.</i>	Analogie aux parties de vivants Analogie à l'instrumentation humaine Usage médical	radioles d'oursins
Trochites et entroques	<i>imite la forme d'une roue ou d'un tambourin</i>	Analogie à l'instrumentation humaine	Article et tige de crinoïdes, Echinodermes

Considérons plus particulièrement le cas des **pétrifications liées à une activité humaine** archivée dans la terre. Elles étaient déjà illustrées par les dépôts actuels des fleuves et la pétrification rapide effectuée de divers objets technologiques liés aux anciennes batailles « là où on sort du Rhône et autres fleuves des épées, des sandales et autres choses du même genre,

c'est déjà transformé en pierre » (Du Hamel, 1660, livre 2, p. 195 ; Annexe 12, Simplicius). Nous pouvons les associer à d'autres pierres nommées céraunies aux formes recourbées caractéristiques qui regroupent en fait des silex taillés et des haches de pierre de la préhistoire. Et il s'ensuit que les suppositions de Du Hamel sur les bélemnites et les trochites réunies aux entroques le portent alors vers une pensée artificialiste tout en émettant un doute « la structure de laquelle il y a ceci d'admirable que les rayons du troche inférieur dépassant (du bord), ils vont sous les sillons du supérieur dans un agencement si élégant qu'ils semblent disposés et ordonnés par l'industrie humaine » (Du Hamel, 1660, livre 2, p. 211 ; Annexe 13, Ménandre). Il conforte les interprétations artificialistes anciennes perpétrées sur les différentes générations de savants. Ainsi en est-il des fossiles **des bélemnites assimilés par leur forme à des pointes de flèches** : « Je suis presque amené à croire que ces pierres ne sont rien d'autre que des pointes de flèches, qui, par l'esprit ou le suc lapidifiant ont été transformées. » (ibid., p. 210). Ils sont associés dans son répertoire aux différentes pierres céraunie (Tableau N°7). Les bélemnites ont d'ailleurs été nommées « céraunites » (Bertrand, 1763, Tome I, p. 65). Ce regroupement traduit un ouvrage technique qui est encore validé au siècle suivant dans un article de dictionnaire sur les pierres figurées « Il paroît que ces pierres sont des armes, des instruments & ustensiles dont anciennement les hommes, & sur-tout les Sauvages se servoient, soit à la guerre, soit pour d'autres usages, avant que de savoir traiter le fer » (Valmont de Bomare, 1768-69, Tome 8, pp. 472-473). L'association ambiguë des bélemnites avec d'autres « pierres de foudre ou de tonnerre » ne permettait pas de lever le doute pourtant existant « Les Naturalistes ne sont point d'accord sur l'origine de ce fossile : on n'a pas encore prouvé d'une manière bien décisive, si c'est une pétrification originaire du regne animal » (ibid., Tome 2, p. 18). Les hypothèses dans ce sens penchaient pour une Holothurie fossile, une orthocératite à rapprocher du nautilaire, une pointe d'oursin ou une dent d'animal telle celle d'un crocodile (Bertrand, 1763)⁸⁵. Ces fossiles de bélemnites sont bien en fait des rostrés de mollusques céphalopodes marins disparus, abondants dans les sédiments jurassiques et crétacés. De même **les fossiles appelés « trochites » sont corrélés à une roue fabriquée par l'homme**. La forme et l'arrangement des articles d'encrines dans les calcaires à entroques qu'il évoque sont si parfaitement agencés qu'ils ne peuvent être une production de la nature mais une construction humaine. Ils sont en définitive des disques de crinoïdes, groupe d'échinodermes encore actuels dont la morphologie s'apparente à un lys. Plus implicite est l'artificialisme de Du Hamel concernant **la pierre judaïque gravée** remarquée par ses « lignes placées à intervalles égaux entre elles gravées dans cette pierre » (ibid., p. 210). A l'instar d'une définition du XVIII^e siècle, l'artificialisme est récurrent et explicite cette fois même si le doute persiste sans pour autant entraîner la réfutation d'une origine artificielle « Pierre judaïque, judaicus lapis, est une pierre blanche, tendre & friable en forme

⁸⁵ Élie Bertrand, a écrit un article intéressant sur les « Bélemnites » dans son *Dictionnaire universel des fossiles propres et des fossiles accidentels* (Tome 1, pp. 65-89). La Haye : Pierre Gosse junior et Daniel Pinet.

de gland, sur laquelle il y a des lignes si industrieusement travaillées qu'elles paroissent avoir été faites au tour » (Diderot & D'Alembert, 1765, vol.12, p. 584). Cette description correspondrait aux radioles d'oursins réguliers du genre *Balanocidaris*, dont le mamelon est typiquement renflé, glandiforme et strié (Chaumeton & Magnan, 1985, p. 259) et que Du Hamel décrit comme un « noyau d'olive ». Ces radioles des Cidaridés se retrouvent fréquemment dans les sédiments, détachées du test d'origine sur lequel elles étaient insérées par un tubercule lorsqu'ils menaient une vie benthique sur les côtes rocheuses. D'une très grande diversité elles servent de critères d'identification actuellement.

Cependant nous pouvons remarquer que ces différents exemples liés à l'artificialisme contredisent la pensée générale que Du Hamel avait introduite dans le chapitre précédent « Il est vrai que la technique imite la nature, elle ne l'égale pas » (1660, Chap. 6, p. 188 ; Annexe 12). Il prenait bien position pour séparer le monde naturel du monde artificiel sans réussir à faire la transposition dans les cas particuliers, tels celui des bélemnites.

6.1.3 La référence aux anciens et à leur imaginaire : première approche épistémologique

Ainsi cette pensée artificialiste perdure depuis des siècles, associée aux conceptions mythologiques et astrologiques. Le répertoire de Du Hamel par la voix de Ménandre ne se différencie guère des classifications erronées antérieures surprenantes ou de celle de Conrad Gesner qui associaient des oursins et des haches préhistoriques (Gohau, 1990b, pp. 47-48). **Les références de Du Hamel restent encore très imprégnées des textes anciens en mobilisant encore leur mode de pensée imaginaire.** Elles restent empreintes encore de mythologie par la référence aux Gorgones⁸⁶ qui ont changé en pierre les « carapaces de tortues » assimilées à la pierre de brontée, ou encore par la dénomination des ammonites considérées encore comme des cornes de bélier affiliées au dieu égyptien Amon⁸⁷. L'influence de l'imaginaire et sa puissance de conviction sont importantes auprès d'un public souvent plus conquis par le merveilleux que le rationnel (Gayrard-Valy & Thomas, 2000, pp. 11-25). Pour lui, les glossopètres restent des « langues de serpent ». Il ne tient donc pas compte de la remarquable réfutation de Fabio Colonna qui démontra leur origine organique en analogie aux dents osseuses de squalo en 1616 (Ellenberger, 1988, pp. 188-190). Il regroupe toutes les « pierres tombées du ciel », les glossopètres lors d'une éclipse de lune selon Plin, avec les autres « pierres de tonnerre ou flèches de foudre » qui ont la couleur ou la forme de

⁸⁶ Les Gorgones sont des monstres fabuleux de la génération préolympienne, avec une chevelure de serpents, des dents de sangliers et des ailes d'or, qui changeaient en pierre quiconque les fixait. Elles étaient trois sœurs, Sthéno, Euryalé et Méduse, la seule mortelle.

⁸⁷ La coquille enroulée des ammonites et sa ressemblance avec les cornes enroulées de la tête de bélier symbolisant le dieu égyptien Amon-Râ, généreront le nom de ces fossiles disparus de l'ère secondaire.

l'éclair selon l'opinion commune. Toutes ces appellations et histoires imaginées autour de la forme de ces fossiles contenteraient bien les élèves du primaire ! En fait l'héritage de ces idées s'est transmis de l'antiquité jusqu'au XVII^e siècle presque sans modification. Pline l'ancien (23-79), Agricola (1494-1555), Anselme Boèce de Boot (1550 ?-1632)⁸⁸ y ont participé même si ce dernier alertait sur la fermeté de ces croyances en précisant que **si quelqu'un avait voulu réfuter cette opinion du vulgaire il serait passé pour fou**. Du Hamel⁸⁹, par la voix de Simplicius, va même jusqu'à reprendre mot pour mot un passage de Sénèque (Annexe 12 ; 1660, livre 2, pp. 197-198) qui attestait l'existence d'une vie souterraine aquatique contenant des poissons empoisonnés émergeant à la surface de la Terre lors d'un séisme. De même que Gassendi (1592-1655), contemporain de Du Hamel et Descartes, l'avait repris avant lui, en s'interrogeant sur l'origine des pierres fossiles. La transmission de ce savoir livresque s'est effectuée au gré des lectures et répliques textuelles, chacun ayant joué le rôle de maillon d'une chaîne d'une connaissance traditionnelle scolastique. Il n'y pas un édifice construit des savoirs mais une simple reproduction.

Cependant ce texte préscientifique montre qu'**une certaine distance veut être prise par rapport aux textes anciens** sur le fond du refus des causes astrologiques et sur la forme dialoguée. Sur le fond la pensée préscientifique de Du Hamel est moderne en se démarquant des anciennes conceptions géocentriques et des causes célestes. Les doutes sur l'origine les pierres de céraunies marque cette distance « il n'est pas probable qu'elle a été jetée à bas depuis les nuages sur la terre » (Du Hamel, 1660, livre 2, p. 210). Mais plus encore la logique de réfutation de ces causes célestes pour les calculs rénaux est remarquable. Comment expliquer que les astres soient partout alors que les calculs rénaux sont localisés chez certains individus seulement (Annexe 12)

« qu'à partir des diverses dispositions des étoiles naissent les différents aspects des pierres, je ne pourrai jamais le croire ; et je m'étonne fortement qu'un si grand Philosophe, séduit par la jactance des Chaldéens⁹⁰, ait rempli ses livres d'affabulations puériles : comme si les mêmes constellations ne rayonnaient pas partout, comme si une étoile, qui luit par toute la terre, répandait ses écoulements sur un endroit particulier plutôt que sur un autre. Est-ce que par hasard, lorsque les calculs se forment dans les reins, on mettra en cause les étoiles fixes, un liquide labile et gluant, ou une chaleur excessive ? Dans

⁸⁸ Les céraunies sont décrites comme des pierres précieuses couleur de l'éclair et qui ressemblent à des haches selon Pline l'ancien ; décrite par Agricola comme étant lisse, ronde ou oblongue, et selon l'opinion commune tombée avec la foudre ; dessinée par Anselme Boèce de Boot dans son livre *Gemmarum et lapidum historiae* à l'article « Céraunie » dans lequel il intègre aussi cinq haches de pierre. Elles sont donc communément considérées comme des pierres de tonnerre ou flèches de foudre, associées aux silex et autres objets taillés de la préhistoire. Inspiré de www.cosmovision.com

Cf. aussi l'article : Gaudant, J. (2007). Aux sources de la Préhistoire : les céraunies, ces pierres étranges supposées tombées du ciel. *Travaux du comité français d'histoire de la géologie (Cofrhigéo)*, Troisième série, t. XXI, n°2, 97-112.

⁸⁹ Ce passage célèbre du philosophe romain stoïcien Sénèque (vers -4 av. JC_65 ap. J.-C.) est repris à nouveau par Du Hamel. Il est issu du livre « *Naturales quaestiones* » (Ou Recherches sur la Nature, livre III, chapitre 19, pp. 1-3 ?). Cf l'écrit traduit et annoté par F. & P. Richard (1935). Paris : Garnier Frères. [Lorsqu'en Carie, ... les cache profondément], la lecture de celui-ci précise simplement la ville de Carie, Idymus

⁹⁰ Nom donné dans l'Antiquité classique à diverses sortes de prêtres et astrologues orientaux

quel but avoir recours aux causes premières, universelles, et cachées, alors qu'il y en a de bien plus proches, et qui se tiennent à portée de main. » (Du Hamel, 1660, livre 2, chap. 6, p. 186).

Et sur la forme, la mise en scène offre la possibilité de débattre des idées anciennes, de les critiquer. Ce dialogue est une stratégie pour soulever le doute sur les théories aristotéliennes et les réfuter diplomatiquement en ce qui concerne l'origine des pierres en général. Mais le texte dialogué de Du Hamel tend tout juste à s'affranchir de leur carcan en ce qui concerne leur classification sous forme d'un catalogue disparate. La démarche de Du Hamel reste ambiguë. **La distanciation nécessaire aux textes anciens et à l'imaginaire sera beaucoup plus nettement explicitée aux siècles suivants** par de nombreux savants. Au XVII^e siècle, Fontenelle, successeur de Du Hamel au poste de secrétaire perpétuel à l'Académie de 1697 à 1740 fut un des premiers à faire un bilan des progrès des Sciences de la seconde moitié du XVII^e puisque sa fonction lui préconisait d'établir « une histoire raisonnée de ce qui se sera fait de plus remarquable dans l'Académie » (Fontenelle, 1702/1994, p. 63, règle XL). Impulsé par une nouvelle méthodologie cartésienne, ce siècle est clairement annoncé en rupture avec les siècles précédents par Fontenelle

« L'autorité a cessé d'avoir plus de poids que la raison ; ce qui étoit reçu sans contradiction, parce qu'il l'étoit depuis long-temps, est présentement examiné, et souvent rejeté : et comme on s'est avisé de consulter sur les choses naturelles la Nature elle-même, plutôt que les Anciens, elle se laisse plus aisément découvrir ; et assez souvent pressée par les nouvelles expériences que l'on fait pour la sonder, elle accorde la connoissance de quelqu'un de ses secrets. » (Fontenelle, 1733/1996, pp. 337-338).

Ce qui est généralisé par Fontenelle pour les Mathématiques et la Physique -dont l'étude de la conservation de la vie partagée en trois branches seulement, l'anatomie, la chimie et la botanique- le sera pour toutes les disciplines émergentes du XVIII^e siècle dont la conchyologie en relation étroite avec les coquilles fossiles qui nous intéressent. Aussi citons comme illustration de cette nouvelle posture naissante un extrait du discours préliminaire d'un livre de Dezallier⁹¹ qui se révèle intéressant par rapport au texte construit par Du Hamel s'appuyant sur de nombreux Anciens

« Les grands hommes ont de tout tems donné le ton à ceux qui les ont suivis ; non seulement ils ont éclairé leur siècles de leurs lumières naturelles mais ils ont servi de flambeau aux siècles qui leur ont succédé. Leurs méprises même reconnues par l'expérience, n'ont pas laissé d'étendre nos connoissances. Telle est la marche de l'esprit humain : ne seroit-ce pas perpétuer l'erreur que de les suivre trop aveuglément, & ne pourroit-on point faire à la plûpart de nos Naturalistes modernes un reproche qui paroît assez bien fondé ? Entraînés par l'autorité des Anciens dans les matieres qu'ils ont traitées d'après eux, on les a vûs en serviles imitateurs adopter leurs sentimens, jusqu'à copier les Figures peu exactes répandues dans leurs Ouvrages. Si la Nature qui étale sans cesse à nos yeux la richesse de son spectacle, eût été plus souvent consultée, elle leur auroit parlé un autre langage ; le flambeau de l'expérience est le seul qui doit guider un Naturaliste. Cette loi mieux observée nous épargneroit sans doute la lecture de ces immenses compilations, qui loin de reculer les bornes du savoir, ne nous apprenne rien, & nous jette de plus en plus dans l'embarras & dans la confusion. En effet tout ce qu'on a écrit touchant les Animaux couverts de coquilles se trouve démenti par la Nature. » (Dezallier, 1757, p. XXI).

⁹¹ Antoine Joseph Dezallier d'Argenville (1680-1765). Naturaliste français connu pour deux ouvrages très populaire, *Théorie et pratique du jardinage* et *Conchyliologie*. Il utilise une nomenclature binomiale pour classer tout coquillage de divers milieux –marins, fluviaux, terrestres- et de diverses époques –fossiles et actuels-. De nombreux collectionneurs l'utilisèrent, dont Carl Von Linné pour organiser sa propre collection.

La sentence arrêtée est forte et la référence aux textes anciens est indubitablement révolue par une distanciation généralisée, respectueuse et circonspecte au XVIII^e siècle. Elle sera à nouveau rappelée au XIX^e siècle, c'est dire si le poids de l'imaginaire des anciens a été prégnant « A mesure qu'une science s'avance dans la voie de l'observation directe et de l'analyse, le champ de l'imagination semble se rétrécir, et les spéculations, plus brillantes que solides, qu'elle enfantait naguère avec tant de facilité, deviennent de plus en plus rares » (Archiac, 1847, Tome 1, p. 1).

6. 1.4 Deux obstacles bachelardiens revisités, l'expérience première et la connaissance générale : seconde approche épistémologique

Selon un deuxième axe d'analyse, deux obstacles bachelardiens symétriques liés à une « paresse intellectuelle » bloquent la pensée scientifique : l'empirisme naïf et disparate ou la généralisation prématurée et séductrice. Voyons comment le premier révèle l'« incapacité à poser un problème » et le second repère « toute connaissance non questionnée » (Orange, 1993b, p. 4).

Pour démontrer **la part de l'expérience première dans la problématisation de l'époque**, nous avons clarifié le discours des deux protagonistes imaginés par Du Hamel, Théophile (Du Hamel, 1660, livre 2, chap. 6, pp. 184-192 ; Annexe 12) et Simplicius (ibid, pp. 192-200 ; Annexe 12) en schématisant deux espaces de contraintes et de possibles, mettant en valeur les registres empiriques et explicatifs respectifs dans le cadre de la problématique de la solidité des corps. A travers de longs monologues successifs typiques des dialogues galiléens, ces deux personnages se répondent et défendent leur thèse respective dans laquelle l'argumentation reste dans un registre à dominante minéralogique. Ils mobilisent occasionnellement quelques fossiles –au sens actuel (mis en italique dans un cadre renforcé et ombré dans les schémas)- Et ils mettent tous deux en relief une disparité d'êtres vivants (mis en italique dans un cadre renforcé et ombré dans les schémas), majoritairement dans le registre empirique. Les systèmes explicatifs différents mobilisés sont codés dans un cadre en pointillé ou en trait plein. Le troisième personnage, Ménandre sert de médiateur et passe la parole en ouverture du chapitre en rappelant le cadre théorique cartésien de l'époque.

Schéma N°7 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES– Déclaration de Théophile** dans le dialogue galiléen sur la nature et la génération des pierres
Du Hamel, 1660, livre 2, chap. 6, pp.184-192- (Cf. Annexe 14 : Espace de formulations)

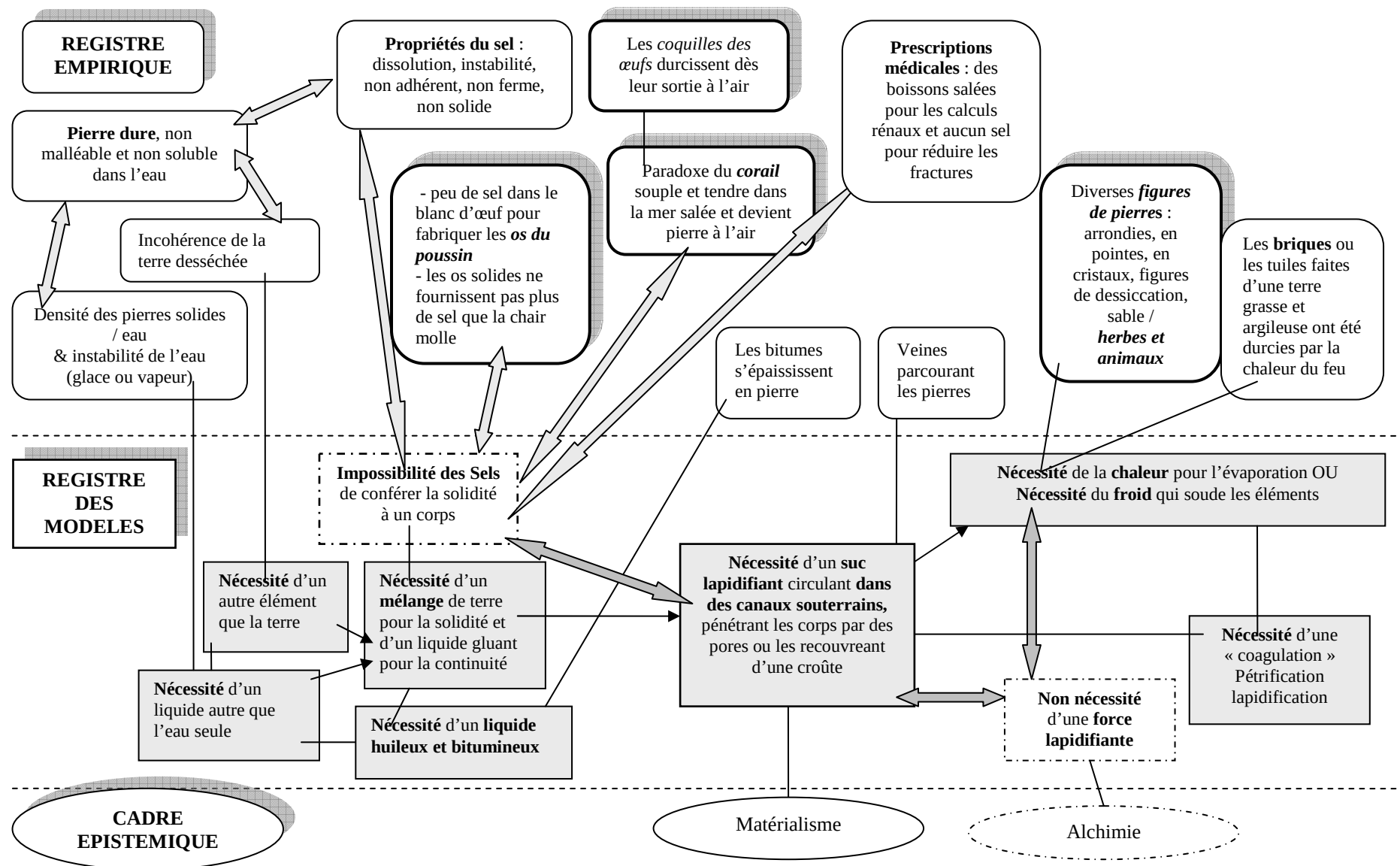
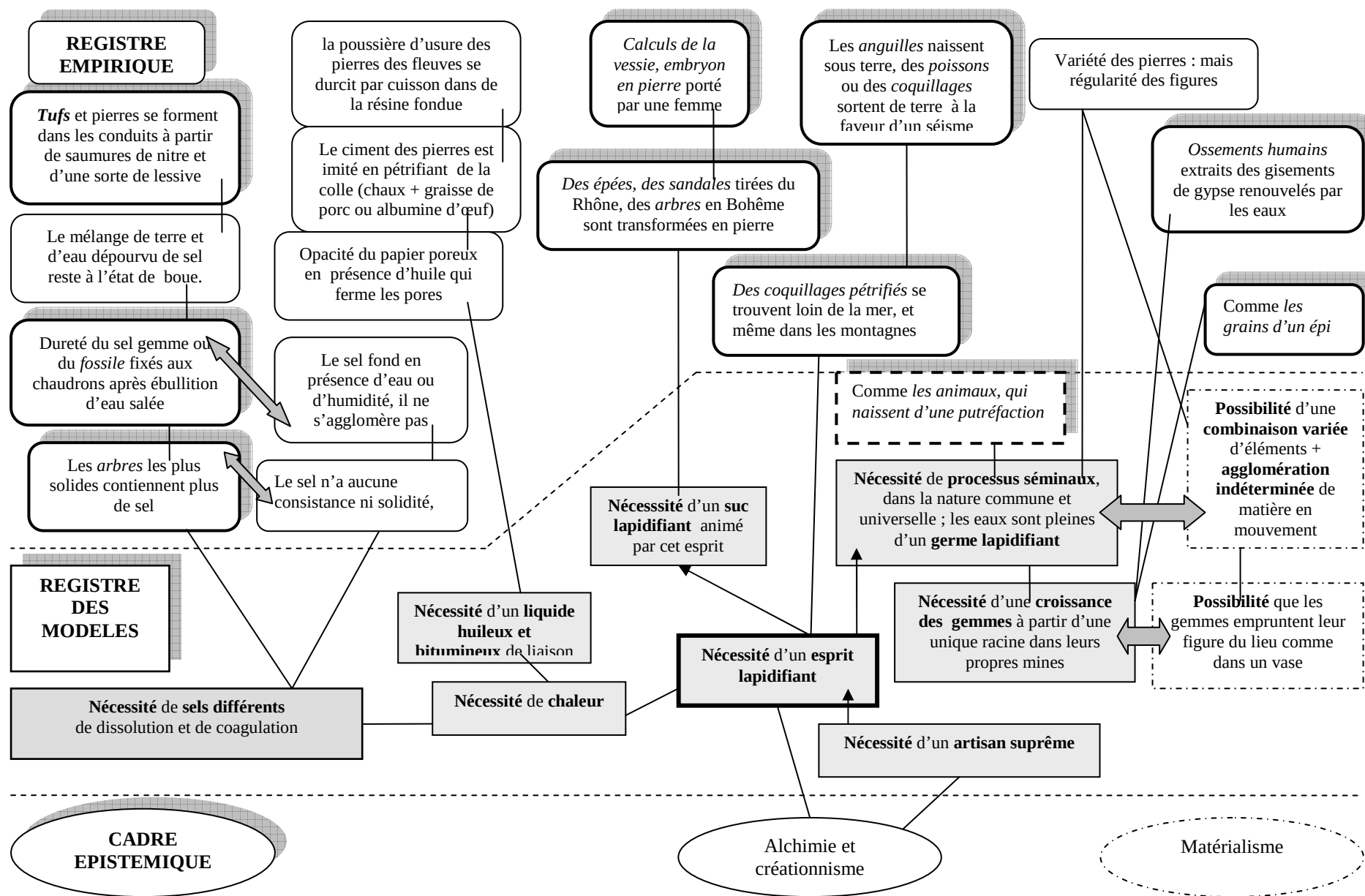


Schéma N°8 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES**— réponse de **Simplicius** dans le dialogue galiléen sur la nature et la génération des pierres
Du Hamel, 1660, livre 2, chap. 6, pp.192-200 (Cf. Annexe 14: Espace de formulations)



Le problème de la genèse des corps solides et de la lapidification est central. Deux thèses s'opposent, alchimiste ou matérialiste, défendant ou non la nécessité des sels dans la pétrification. La première défend la nécessité d'un esprit ou d'une force lapidifiante et la seconde défend essentiellement la nécessité d'un suc lapidifiant. Mis en valeur dans le schéma N°7, Théophile met en tension un registre empirique disparate –chimique, minéral, biologique, médical et technique- pour démontrer que les sels sont un principe insuffisant à la formation des pierres. Il veut démontrer par contre le caractère indispensable d'un suc lapidifiant ou d'une boue collante. S'il est nécessaire pour l'« agglomération » des particules, cet agent de lapidification n'est pas suffisant. La pétrification résulterait en outre de la conjonction de plusieurs autres causes : la saturation de l'eau en particules de terre, l'évaporation grâce à la chaleur et la stagnation du mélange permettraient le durcissement ou « coagulation » des pierres. Pour finir Théophile veut aussi rejeter la cause d'une vertu plastique pétrifiante appelée aussi force lapidifiante. **Peu de fossiles –au sens actuel- sont convoqués** par Théophile comme par Simplicius. Chez le premier protagoniste seuls les herbes et les animaux encroûtés (Annexe 12, p. 186) viennent illustrer une pétrification par évaporation –et non pas une précipitation comme nous l'envisageons aujourd'hui. Le terme employé de « figures de pierres » (lapidum figuras) annonce le concept de pierres figurées. Quant au second protagoniste, Simplicius, il mobilise des coquillages pétrifiés, des arbres, des épées et des sandales transformées en pierre (Schéma N°8). Au contraire de son interlocuteur il défend la nécessité des sels et d'une cause suprême, l'« esprit lapidifiant » -ou « force plastique » ou « vertu formatrice »- qui règne partout, dans les montagnes comme les fleuves. Elle est omnipotente : elle organise la matière, régit la chaleur et le froid, modèle en tout lieu des pierres semblables, crée des gemmes des mêmes figures. Et le suc pétrifiant est animé par cette force divine pour pénétrer dans les corps fossiles. Nous approfondirons l'analyse de cette pensée animiste qui sera l'objet de notre seconde étude.

Globalement nous pouvons donc remarquer d'une part que **des observations encore très éclectiques** sont mobilisées en analogie enracinée parmi les objets quotidiens pour caractériser les fossiles. A l'aide d'images premières naïves l'esprit du naturaliste, dépourvu de méthode critique, semble emporté d'une pierre fossile à un autre corps solide en jouant sur les métaphores⁹². Selon une classification actuelle nous pouvons discerner deux types d'objets référencés participant au registre empirique -. Soit ce sont des objets techniques en rapport avec l'obstacle artificialiste décelé –épées et sandales transformées en pierre (Schéma N°8 et Annexe 14 ; Annexe 12) ; flèche, roue, tambourin, hache, marteau (Annexe 13 et Tableau N°7)-. Soit ce sont des objets de la nature apparentés aux fossiles–arbres changés en pierre, coquillages pétrifiés, ossements humains, (Schéma N°8 ; Annexe 12), corne de bœuf, corne

⁹² Il serait intéressant de compléter l'analyse par la lecture de l'ouvrage suivant : Fox Keller, E. (1996). *Refiguring life : Metaphors in Twentieth Century Biology*, New-York, Columbia University Press /(2005). *Expliquer la vie : modèles, métaphores et machines en biologie du développement* (trad. S. Schmitt).

de bœuf, langue de serpent, carapace de tortue, noyau d'olive (Annexe 13)- ou non apparentés aux fossiles - embryon en pierre, calculs de vessie (Schéma N°8), os de poussin et coquilles d'oeuf, corail (Schéma N°7). De plus la fossilisation partielle de certaines parties dures des anciens corps vivants -rostre, test et radioles d'oursin isolés, articles d'encrines- se surajoute à la méprise d'une interprétation immédiate. **Des observations syncrétiques** se surajoutent dans la mesure où le corps fossile, souvent partie de l'ancien vivant, est considéré comme une entité à part entière. Cette démarche spécifique d'un esprit préscientifique rejoint l'expérience première bachelardienne qui immobilise la conceptualisation de fossile « Aussi l'esprit scientifique doit-il lutter sans cesse contre les images, contre les analogies, contre les métaphores. Dans nos classes élémentaires, le pittoresque et les images exercent les mêmes ravages » (Bachelard, 1938/2004, pp. 45-46).

Et d'autre part tout ce catalogue hétéroclite de pierres tend à **rechercher une loi générale de formation de toutes les pierres aussi diverses soient-elles** –chaux, cristaux de sel, minéraux, gemmes, sable, grès, pétrifications d'herbes et d'animaux- et même de la genèse de toutes parties solides « pierreuses » d'un être vivant –les os, les calculs rénaux, les coquilles d'œufs, le corail- (Annexe 12). L'amalgame est fait entre les pierres figurées dans les roches sédimentaires, les minéraux et toute autre roche et même les productions pierreuses des vivants ! La problématique générale de la nature et de l'origine des pierres reste le débat majeur explicite en géologie au XVII^e siècle. Le livre second « De fossilibus » de Du Hamel l'explique dans le sommaire « De natura, causis & usu fossilium ». Le terme générique de fossile employé en tant qu'adjectif désigne au sens le plus ancien et général, tout ce qui est trouvé en creusant la terre. Cet adjectif sera substantivé à une seule occasion (Du Hamel, 1660, p. 200) mais il lui sera préféré le plus souvent « lapis », nom spécifique désignant toutes sortes de pierres en général. C'est pourquoi les fossiles ne constituent que des cas particuliers intégrés parmi une longue liste descriptive de la diversité des « pierres ». Les espèces minérales -ambre, talc, mica ou pierre spéculaire-, sont compilées avec les genres lithologiques -sable, schiste, marbre- et parfois avec les objets paléontologiques -corne fossile, corne d'Ammon, glossopètre, pierre judaïque, bélemnite, trochite (Du Hamel, 1660, pp. 209-210)- dont les noms actuels de cette dernière catégorie sont respectivement des cératites, des ammonites, des dents de requins, des radioles d'oursins, des rostrs de bélemnite et des articles de crinoïdes. Le phénoménisme de la variété des figures de toute pierre est mis en tension avec le rationalisme de leur formation, hasard des jeux de la nature ou conditions nécessaires physiques. Mais sans remise en cause, la formation in situ dans le sous-sol a été la plus plébiscitée par de nombreux auteurs s'enracinant sur des textes antiques gréco-latins sur lesquels s'appuie Du Hamel (Annexe 12). Ainsi **la pensée préscientifique est orientée vers le problème global de la solidité de toutes les formes pierreuses rencontrées dans la**

nature. Chez Du Hamel le modèle explicatif reste basé sur le sel⁹³, principe alchimique de Paracelse donnant aux corps leur solidité. Cette généralisation excessive réunit les phénomènes hétérogènes liés à la minéralogie et aux corps vivants. Elle réunit donc d'une part la minéralisation des pierres précieuses, la diagenèse des roches sédimentaires, le métamorphisme et la fossilisation qu'elle associe d'autre part à l'ossification ou la formation de calculs de vessie dans le corps humain, à la formation des valves de coquillages ou des coquilles d'œuf et à la fabrication des squelettes coralliens. **Le problème de solidité de la matière est le problème principal des naturalistes de ce siècle.** Nous élargissons notre champ d'étude à un géologue anglais, John Woodward contemporain de Du Hamel, qui s'est penché sur ce problème pour construire sa théorie de la Terre. Concernant les coquilles fossiles, il avait été frappé par la similitude de matière entre la roche encaissante et l'intérieur de la coquille, matière différente de la coquille pétrifiée (Gohau, 1990b, p. 145). En répondant au docteur Camerarius il explicite clairement le problème de ces fossiles étrangers à la terre intégrés dans la roche parfois même dans de grandes profondeurs

« par quel moyen ces corps marins apportés de la mer, avoient pû s'incorporer tellement avec la substance des couches de marbre & de toutes sortes de pierres, que lorsqu'elles viennent à être rompuës, on les en trouve remplies. [...] comment quelques-uns de ces coquillages s'étoient enfoncés jusqu'à la profondeur de plusieurs centaines de pieds dans la terre, pendant que d'autres avoient été portés au sommet des plus hautes montagnes, par exemple, des Alpes en Europe » (Woodward, 1695/1735, pp. 299-300).

Cette observation fondamentale qu'une matière dure puisse être moulée impliquait un état antérieur liquide. Pour Woodward, la cause réside dans le déluge universel séparant deux mondes. Son système conçoit la dissolution d'un premier monde puis la formation du monde actuel selon les lois de la pesanteur expliquant les différentes couches terrestres

« J'ai dit que pendant le déluge, lorsque les coquillages étoient suspendus & flottoient dans l'eau avec le sable & les autres matieres qui composent les pierres, les cailloux, le spar⁹⁴, & tous les autres minéraux, dont les particules avoient été desunies & séparées l'une de l'autre, la matiere de ces substances entra dans les coquillages, & les remplit si exactement qu'elle en prit la figure, les coquillages lui servant alors comme de moules & de matrices. J'ai dit encore que ces coquillages qui étoient en partie remplis, & en partie vuides, tombant avec la matiere des pierres, de la craye, & de toutes les autres substances dont ce globe terrestre est composé, formerent les couches qui constituent la terre » (Woodward, 1695/1735, pp. 253-254).

L'idée centrale de tout l'ensemble de ses déductions est bien la liquéfaction de la matière puis son durcissement à partir des éléments plus ou moins meubles, tels le mélange de terre et d'eau. Les sédiments donnent des roches cohérentes, les coquilles fossiles donnent des moules

⁹³ Le sel au XVII^e siècle est un principe ou une fonction de solidité, et non un corps défini ou élément comme il le sera aux siècles suivants. Selon Paracelse les deux autres principes pour expliquer les qualités de la matière sont le soufre et le mercure, respectivement principe d'inflammabilité et principe de liquidité. Ce terme chimique de sel évoluera pour comprendre les acides, les bases et leurs éléments réactionnels au XVIII^e siècle puis comprend les solutions salines actuellement. Quand aux mécanismes de solidification ils sont discutés dans le dialogue de Du Hamel par intussusception ou par juxtaposition, autre problématique de la minéralogie.

⁹⁴ Le spar est un carbonate de calcium, équivalent des roches calcaires et le spath est le sulfate de calcium actuellement appelé gypse

quand le liquide marin et salé incorporé dans ces pores se cimente. Mais contrairement à Woodward les fossiles au sens moderne « ne sont pas encore sortis de terre » pour Du Hamel ! Ce thème intuitif de solidité est d'une trop grande généralité chez celui-ci et domine dans son explication préscientifique (Bachelard, 1938/2004, p. 84). La recherche d'une loi universelle, générale, régulière pour comprendre leur genèse est encore loin d'être problématisée. Et dans ce cas le concept de fossile est « immobile ou sclérosé» (ibid., p.77).

Cet esprit résolument préscientifique caractérisé par l'éclectisme, semble être une méthode classique au XVII^e siècle. En effet cette démarche empirique de compilation et de juxtaposition des faits disparates est bien illustrée aussi par un contemporain et collègue de Du Hamel, le chimiste Claude Bourdelin (1621-1699) apothicaire de la Maison du Duc D'Orléans. En 1666 ces deux savants appartiennent au premier groupe de travail de la nouvelle Académie Royale des sciences. Les nombreux *Procès-verbaux* des séances de l'Académie et les *Registres des Analyses* révèlent un travail quotidien d'accumulation de milliers de distillations et de pesées tout azimut pendant 27 ans, de 1672 à 1699 (Salomon-Bayet, 1978, p. 57). Si l'analyse des eaux minérales du Royaume et des plantes est prioritaire, tout autre corps organique et inorganique est bon à être distillé. L'exploration se veut exhaustive mais circonstancielle des saisons, des arrivages et des exécutions ce qui nous donne une liste curieuse à la Prévert : des narcisses, des fraises ou du cresson, des terres argileuses, des chairs de l'éléphant de Versailles, la cervelle d'une femme suppliciée, ou encore un œuf d'autruche. Sans autre interrogation sur ces différents corps de la nature qu'une quelconque « vertu » générale traquée, cette méthode confondant érudition et science fut vouée à l'échec. Le même obstacle épistémologique, la connaissance générale par accumulation d'unités non questionnées, réunit la première communauté scientifique française de l'Académie Royale des sciences de Paris. Notons que cette démarche fut poursuivie souvent par prudence par l'Académie des Sciences au XVIII^e siècle. Fontenelle assumera bien cette méthode caractérisant une science « au berceau » pour le passage du XVII^e au XVIII^e siècle

« Aussi l'Académie n'en est-elle encore qu'à faire une ample provision d'observations et de faits bien avérés, qui pourront être un jour les fondemens d'un Système : car il faut que la Physique systématique attende à élever des édifices, que la Physique expérimentale soit en état de lui fournir les matériaux nécessaires. [...]Jusqu'à présent l'Académie des Sciences ne prend la Nature que par petites parcelles. Nul Système général, de peur de tomber dans l'inconvénient des Systèmes précipités, dont l'impatience de l'Esprit humain ne s'accommode que trop bien, et qui étant une fois établis, s'opposent aux vérités qui surviennent. Aujourd'hui on s'assure d'un fait, demain d'un autre qui n'y a nul rapport. On ne laisse pas de hasarder des conjectures sur les causes, mais ce sont des conjectures » (Fontenelle, 1702/1994, p. 49).

Voyons maintenant comment les savants du XVIII^e siècle ont répondu aux progrès scientifiques annoncés par Fontenelle. Voyons comment les naturalistes sont passés **des jeux de hasard et des figures de pierres variées aux pétrifications et pierres figurées**. Ces **différentes dénominations successives nuancent et font émerger peu à peu le concept de fossile**. Dans le cercle des académiciens c'est le terme de pétrification qui apparaît en premier

pour désigner des fossiles (Godin⁹⁵, 1734, Vol. 1, p. 264), suivi par la notion de pierre figurée (Godin, 1729, Vol 2, p. 500). C'est la description d'un tronc de palmier pétrifié et de son homologue vivant rapportés d'Afrique qui institutionnalise la première discussion académique autour des fossiles (La Hire, 1692). L'auteur cherche un consensus sur l'origine et la cause des pétrifications soumis à deux modèles explicatifs en débat. Il argumente en faveur des vertus des eaux pétrifiantes contre le hasard des jeux de la nature. Les écrits sur les pétrifications furent relayés par de nombreux comptes-rendus sur les pierres figurées, dont le premier porte sur des empreintes de poissons et de feuilles d'olivier rapportés d'Italie par Maraldi (Fontenelle, 1703). **La forme ou figure des pierres** était **précurseur** du terme plus spécifique de "**pierres figurées**" **usité encore au début du XVIII^e siècle** par de nombreux Naturalistes. Par exemple Antoine de Jussieu l'employait toujours comme terme générique pour les empreintes de fougères découvertes dans le gisement houiller des environs de Saint-Chamond (Saint-Chaumont) dans le Lyonnais (1718) ou les fossiles d'ammonites ou « Cornes d'Ammon » très répandues dans tous les pays dont l'uniformité de genre et la diversité des espèces surprend (1722). Il nommait aussi « plantes pierreuses » les madrépores fossiles associés. Les « Pierres chargées de figures de Plantes » ou « Plantes figurées étrangères » lui donnait l'impression d'« herboriser dans un nouveau Monde » appartenant à « la plus ancienne Bibliothèque du monde » (1718, p. 288-289).

En rompant avec les convictions des Anciens, avec l'obstacle de l'expérience première – artificialiste et fixiste, et l'obstacle d'une généralisation abusive, la problématique de la nature et de l'origine des fossiles pouvaient être posée : la paléontologie pouvait enfin émerger de la minéralogie. Un plus juste équilibre entre l'empirisme et l'explicatif pouvait conduire à « un jeu de raisons multiples » (Bachelard, 1938/2004, p. 48). Plus de cinquante ans après le texte de Du Hamel, le problème de l'origine et de la formation des pierres en général va être déplacé vers le problème de l'origine et de la formation des pierres figurées en particulier (Fontenelle, 1716) puis des coquilles fossiles (Réaumur, 1720), jusqu'à séparer les fossiles « accidentels ou étrangers à la terre » des « fossiles natifs » (Holbach, 1757, vol. VII). Donc l'origine vivante de ces figures imprimées ou corps étrangers à la terre moulés dans « une pâte molle et fine » ne fait plus de doute pour la plupart des savants dès le début du XVIII^e siècle (Fontenelle, 1716, p. 8). En conséquence le problème est clairement déplacé et posé « Qui peut avoir porté ces Poissons et ces Coquillages dans les Terres, & jusques sur le haut des Montagnes ? » (Fontenelle, 1703, p. 23). Mais cela n'empêcha pas l'obstacle artificialiste de resurgir au milieu du XVIII^e siècle dans l'opinion commune malgré une problématique mieux établie autour des objets fossiles différenciés en anciens vivants.

⁹⁵ Louis Godin (1704-1760), académicien astronome eut en charge de dresser les tables alphabétiques de l'Histoire et des mémoires de l'Académie Royale de Paris. Il les établit pour les mémoires parus de 1666 à 1730 (Godin, 1729-1734).

6. 2 Une étude de cas d'une controverse entre J.-É. Guettard et Voltaire, un état du savoir au XVIII^e siècle à propos des coquilles fossiles : l'émergence de la paléontologie

Le siècle des Lumières a été riche en controverses à propos des fossiles. De nombreux échanges ont eu lieu, tout d'abord dans la première moitié du XVIII^e siècle sur l'origine et la nature des fossiles. Puis après consensus d'anciens vivants, les communautés savantes de la seconde moitié du XVIII^e siècle se sont préoccupées essentiellement des conséquences sur les changements à la surface du globe. Ce milieu du siècle peut être considéré comme une **époque charnière de rupture qui voit émerger divers concepts géologiques en stratigraphie et en paléontologie**. Nous nous proposons de faire état d'une controverse à propos de l'origine marine des fossiles et du déplacement des mers entre un académicien naturaliste Jean-Étienne Guettard et son premier détracteur contemporain, l'illustre académicien des Belles-lettres François-Marie Arouet dit, Voltaire. Nous devons, dans un premier temps, présenter Jean-Étienne Guettard et ses travaux scientifiques, en rapport avec la paléontologie, pour resituer le document archivé dans son contexte scientifique de l'époque. Et, comme le texte manuscrit mis à jour de ce naturaliste est une réponse à un ouvrage de Voltaire publié en 1768, la carrière scientifique de Guettard était déjà très féconde.

6. 2.1 La vie de Guettard, minéralogiste et son expertise des fossiles

Un naturaliste passionné dès sa jeunesse

Jean-Étienne Guettard (1715-1786) passa sa jeunesse à Étampes où il accompagna son grand-père maternel Descurain, apothicaire, dans ses promenades d'herborisation. Celui-ci était correspondant de Bernard de Jussieu avec qui il s'était lié d'amitié pour une même passion, la botanique. C'est dans ce domaine scientifique que le jeune Guettard fut reconnu et eut, successivement, ses différents titres à l'Académie des sciences : nommé adjoint botaniste le 3 juillet 1743, associé botaniste le 16 mai 1758, puis pensionnaire botaniste le 20 juillet 1758, et enfin pensionnaire de la classe de botanique et d'agriculture lors de la réorganisation du 23 avril 1785. Il fut aussi le médecin botaniste attitré du duc d'Orléans en 1747, ce qui lui donna toute sa vie une grande indépendance matérielle. Ainsi, il lui fut permis de se consacrer à la recherche scientifique dans de nombreux domaines qui l'amènèrent à vivre très tôt sa seconde passion, la minéralogie.

Un conservateur de cabinets d'Histoire naturelle et un prospecteur minéralogiste

Monté à Paris pour ses études à la Faculté de Médecine, il fut tout d'abord l'élève de Jussieu en botanique puis, de Réaumur, qui l'accepta comme assistant pour des travaux sur la régénération des polypes marins. Ensuite, il consacra toute sa vie à l'histoire naturelle grâce à des postes successifs de garde de collections d'histoire naturelle, en 1741 celle de Réaumur puis de 1747 jusqu'à la fin de ses jours, celle du duc Louis d'Orléans et de son fils . Les cabinets d'histoire naturelle florissaient en ce siècle des Lumières, soit en tant que lieu d'amusement des nobles et riches bourgeois, soit en tant que laboratoires de sciences des professeurs. Ils réunissaient diverses récoltes nationales ou exotiques, dont de nombreux fossiles, alors objets de curiosités et de questionnement aussi du grand public. Il enrichit ces cabinets d'histoire naturelle dont il avait la charge, à l'occasion de nombreux voyages projetés. Il avait en vue d'établir une vision synthétique novatrice des dépôts minéralogiques de part et d'autre de la Manche, ce qui aboutit au tracé d'une carte minéralogique des terrains géologiques :

« ...l'on regarde les pierres, les métaux & les fossiles dont il vient d'être question, comme des matières qui entrent essentiellement dans la composition du globe terrestre, elles en sont les parties constitutives, mais il y a d'autres corps qui lui sont entièrement étrangers & accidentels ; ces corps sont ceux qui ont autrefois appartenus à la mer, comme les coquilles, les coraux, les parties de différens poissons, l'on trouve des uns & des autres dans les trois bandes... » (Guettard, 1746, p. 368).

Le substantif "fossile", utilisé par Guettard ici, comprend encore son ancienne signification, beaucoup plus générale qu'actuellement, à savoir, tout ce qui est tiré de la terre. Malgré tout, il différencie parmi ces fossiles, les corps accidentels et étrangers à la terre par leur origine. La distribution minéralogique des terrains était sa préoccupation première. Il parcourut de nombreuses provinces de France (surtout le Nivernais, la Sologne et l'Orléanais, assez bien le Poitou, la Normandie, l'Isle de France, le Maine, et le Perche, un peu la Touraine). Ce qui lui permit de découvrir, par corrélation, une régularité et une uniformité dans la distribution minéralogique des terrains, qu'il anticipait parfois dans ses parcours. Il les subdivisa en trois bandes concentriques, schisteuse ou métallique, marneuse puis sablonneuse qui, respectivement, peuvent correspondre approximativement, aujourd'hui, aux terrains paléozoïques, mésozoïques et cénozoïques⁹⁶. Des prospections ultérieures lui valurent sa renommée dans le domaine de la géologie : sa découverte des volcans⁹⁷ éteints d'Auvergne en 1752, sa reconnaissance des gisements de kaolin⁹⁸ d'Alençon et de Limoges utile au

⁹⁶ La comparaison de la première carte minéralogique de France proposée par Guettard en 1746 avec la *Carte géologique de France et de la marge continentale au 1/500 000^{ème}* (1978-1979) effectuée par O. Dottin, J. Goguel (dir) et Ph. Bouysse (coord.) est très parlante : les terrains centraux miocène et oligocène de la Beauce et de l'Orléanais correspondent à « sa bande sableuse », les terrains intermédiaires crétacé et jurassique de la Touraine et de la Champagne correspondent à « sa bande marneuse », et les terrains périphériques primaires de la chaîne hercynienne de la Bretagne correspondent à « sa bande schisteuse ou métallique ».

⁹⁷ 1752 (1756), Mémoire sur quelques montagnes de la France qui ont été des volcans. *Mémoire de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 27-59.

⁹⁸ 1768, Cinquième mémoire -Qui renferme l'Histoire de la découverte faite en France, de matières semblables à celles dont la Porcelaine de la Chine est composée, lûe à l'Assemblée publique de l'Académie Royale des Sciences, le Mercredi 13 Novembre 1765, & disputes que ce Mémoire a suscitées à l'Auteur. *Mémoires sur*

commerce de la porcelaine en 1765, et enfin, son projet en 1776 innovant et ambitieux d'un atlas minéralogique complet de France et d'Europe, avec Lavoisier et Monnet, à la fin de sa carrière (Guettard & Monnet, 1780 ; Daresté, 1858 ; Rappaport, 1972). Ce n'est donc pas dans le domaine de la paléontologie qu'il fit sa renommée. Et pourtant, son travail méthodique, rigoureux et de terrain en minéralogie fit, aussi de lui, un personnage de référence dans la société savante du XVIII^e siècle à propos des fossiles.

Un correspondant attitré d'Outre-Manche pour l'échange de fossiles

En particulier, Guettard semble avoir eu une **correspondance régulière** avec un naturaliste anglais, Emanuel Mendes Da Costa (1717-1791). Celui-ci fut élu académicien de la Royal Society de Londres en 1747. Il fut un collectionneur anglais, apparemment passionné de fossiles, qu'il échangeait ou revendait comme l'atteste une liste de trois cents fossiles vendus en juillet 1767 au professeur John Anderson de Glasgow⁹⁹. Il est cité comme ayant l'un des plus fameux cabinets d'histoire naturelle d'Europe par Dezallier d'Argenville

« Le cabinet de M. Emanuel Mendes da Costa, de la Société Royale, consiste en un très grand nombre de fossiles naturels et figurés, accompagnés de beaucoup de minéraux & de pétrifications fort bien choisies. Ce savant s'est proposé de donner une histoire générale des fossiles, dont il n'a encore paru que le premier volume imprimé à Londres en 1757 » (Dezallier d'Argenville, 1780, tome 2, p. 324).

Da Costa se faisait un honneur d'envoyer des caisses de fossiles extraordinaires, à Buffon comme à Guettard. Ce dernier menait une enquête en recueillant tout document ou échantillon pouvant l'aider à valider ou réfuter sa théorie des trois bandes rocheuses « Ce ne sont-là, je l'avoue, que des conjectures, mais je ne les crois pas entièrement dénuées de vrai-semblance, & j'espère qu'elles paroîtront assez curieuses, & assez intéressantes, pour que quelque voyageur, amateur de la Physique & de l'Histoire Naturelle, cherche à les confirmer ou à les détruire » (Guettard, 1746, p. 377). Il remercie donc Da Costa dans une lettre (Guettard, 1749 ; Annexe 15) de ses envois et le prie de lui envoyer même les fossiles les plus communs des différentes provinces anglaises afin de pouvoir généraliser son système par continuité entre les deux pays, l'Angleterre et la France

« Je souhaiterois que vous pensassiez M^r. comme moy sur cette matière et que mes idées vous fussent agréables, ce seroit beaucoup pour moy et je gagnerois beaucoup si j'avois pu vous engager à compléter

différentes parties des Sciences et Arts (Tome premier, pp. 91-226). Paris : Laurent Prault. Cette recherche fut développée ultérieurement ; et elle fit l'objet d'autres publications. L'annonce fut faite par le secrétaire, Grandjean de Fouchy, à l'Académie de la publication du premier volume de J.-É. Guettard, premier ouvrage d'un projet en 9 volumes, intitulé "Mémoires sur différentes parties des Sciences & des Arts", (1768/1770). *Histoire de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 38-41. Le volume 1 venait de paraître et l'ensemble du contenu des autres volumes est résumé retraçant tous les travaux et les recherches menées par Guettard, parfois dans les traces de Réaumur. Le volume 5 devait traiter de ses prospections de kaolin et le volume 7 devait traiter de ses expériences dans son laboratoire de Sainte-Geneviève et au four à porcelaines de Bagnolet, ordonnées par le Duc D'Orléans. L'importance de ces travaux liant Physique et Art déboucha sur la manufacture royale de Sèvres. Guettard ne put aller au bout de ce projet de publication qu'il légua à Lavoisier sans succès (Broc, 1989).

⁹⁹ D'après les archives de la Royal Society de Londres. <http://www.royalsoc.ac.uk>

ou à réfuter ce que j'ay dit, ne recherchant que la vérité, ce que vous déciderés me seroit toujours agréable. » (Guettard, correspondance manuscrite du 15 décembre 1749, inédit ?).

Nous pouvons ressentir dans cette lettre une certaine fébrilité de la part de Guettard de pouvoir valider son système des « bandes ». Comme il transparaissait dans son mémoire le plaisir de cette découverte inattendue d'une régularité des terrains et des prédictions qu'elle générerait « J'avouerai que je ne pû voir qu'avec surprise cette correspondance, & que je sentis même quelque plaisir de voir ainsi l'idée que je m'étois faite sur la disposition des terres de la France, confirmée par celle des terres d'Angleterre (Guettard, 1746, p. 380). Ce n'était donc point un « jeu de son imagination » et la joie d'anticiper la nature globale des terrains « cette uniformité fut telle, que je prévoyais la nature du terrain où j'allois entrer (le Nivernois), par celle que je quittois (le Bas Poitou) » (Guettard, 1746, p. 365) pouvait donc se généraliser au-delà de la France. L'année suivante, dans une de ses lettres (Costa, 1750 ; Annexe 16) en réponse aux remerciements de Guettard, Da Costa liste différents fossiles, communs en Angleterre et abondants dans les mines creusées dans la craie ou dans les carrières de sable et d'argile : des espèces d'échinodermes, de pectens, de cornes d'Ammon ou ammonites, d'anomia ou térébratules et d'huîtres. De même, les fossiles végétaux de fougères et d'équisétales se trouvant dans les mines de charbon, étaient échangés afin de les comparer avec les fossiles des provinces françaises. Il fait une comparaison avec les falunières décrites par Réaumur (1720) et avec les charbonnières décrites par Antoine de Jussieu (1718). Ainsi la démarche de Guettard apparaît différente des collections des cabinets de curiosité du XVIII^e siècle car elle était orientée dans la recherche des réponses à sa conjecture.

Un homme public à la recherche de la vérité

Concernant le savant, dans son éloge à l'Académie Royale des Sciences, Condorcet le décrit comme un personnage franc mais sévère, d'humeur vive et souvent dur dans ses expressions, intransigeant, mais brusque dans un souci permanent de justice et de vérité « de sa haine pour l'intrigue & pour la charlatannerie, haine qui lui faisoit voir où elles n'étoient pas, d'un amour pour la justice & pour la vérité aussi facile à blesser que pourroit l'être une passion dominante. » (Condorcet, 1786, p. 60). Ces traits de son caractère blessèrent sans les ménager la plupart de ses confrères et firent qu'il se querella à de nombreuses reprises avec chacun de ses amis. Cette intolérance vis-à-vis des erreurs scientifiques fit de lui donc un homme de dispute « Peu d'hommes ont eu plus de querelles, se sont brouillés plus souvent d'une manière ouverte ; mais il n'a jamais fait le moindre mal à personne, ni porté la moindre atteinte à la réputation même littéraire de ses prétendus ennemis. » (ibid., p. 59). Sans doute est-ce là une allusion à son désaccord avec Voltaire. Guettard l'avoue lui-même dans une

lettre¹⁰⁰ adressée à Malesherbes « Mais lorsque ma vivacité m'emporte je fais en sorte que ce ne soit pas contre les personnes mêmes, mais contre leurs mauvais principes et leurs mauvaises raisons. La vérité est ce que je cherche et lorsque je la crois attaquée, je ne puis m'empêcher de le dire... ».

Par ailleurs, ce besoin insatiable de vérité l'amena à vouloir corriger toutes les erreurs, qu'elles soient commises par ses contemporains ou qu'elles aient été perpétrées par ses prédécesseurs. Cela transparaît dans de nombreux mémoires à la fin de sa vie, comme si, son extrême rigueur l'obligeait à ne rien laisser d'erroné à la postérité. Il l'amorce avec son mémoire sur la porcelaine en 1768 en intégrant toutes les correspondances disputant l'intérêt de sa découverte. Il continue dans cette voie **en voulant mettre fin à cette controverse antique sur l'origine des fossiles** (Guettard, 1783a). Il avait déjà abordé cette problématique avec le naturaliste suisse Élie Bertrand en 1752 qui conjecturait sur leur origine minérale, refusant leur analogie avec les coquilles marines actuelles, sous réserve qu'« il abandonne à qui pourra la renverser ou voudra l'attaquer » (Fouchy, 1759). Et une vingtaine d'années plus tard, Guettard marque très nettement son désaccord avec trois autres de ses contemporains, Voltaire, la Sauvagère et Raulin. Nous pouvons rendre hommage à son honnêteté intellectuelle et son rôle de pédagogue qui l'incite à accepter tout correspondant et adversaire dans ses recherches empiriques « Quel que soit leur rang social, Guettard leur donne également la parole avec respect et courtoisie » (Ellenberger, 1986, p. 86). Il rend compte d'une visite faite à Voltaire dans sa résidence française de Ferney à la frontière suisse, pendant laquelle il essaya de lui expliquer l'origine marine des coquilles fossiles, sans réussir à le convaincre (Guettard, 1783a, p. 12). Il traite l'homme lettré de « chef d'opinion » égarant d'autres partisans « la vérité sera toujours inconstante & variable, tant que les hommes donneront trop de liberté à leur esprit, & que les autres se laisseront prendre si facilement aux imaginations de ceux qui se produisent sous la qualité d'Auteurs » (ibid., p. 38). De ce fait, il ressentit donc tôt le besoin d'établir des monographies sur différents objets fossiles pour corriger toutes les opinions qui avaient eu cours à leur sujet. La première monographie, remarquable par la démarche naturaliste, porta sur les encrines et la découverte de leurs homologues vivants, les "lys de mer" du groupe des étoiles de mer, les échinodermes. Deux exemplaires de ces crinoïdes, dont un pêché dans les profondeurs des mers du Groenland, mettaient ainsi fin aux diverses spéculations historiques et contemporaines (Guettard, 1755). L'énigme des pierres étoilées était levée. De plus, ce cas d'étude conforta Guettard dans l'idée de retrouver pour tout fossile déterré, son homologue vivant dans les abysses ou les contrées

¹⁰⁰ Cf. www.corpusetampois.com "lettre du 29 juillet 1752" adressée à Malesherbes, ed. Abeille d'Étampes, 1875. Cette lettre est une réponse de Guettard à son ami Malesherbes (Chrétien Guillaume de Lamoignon), qui lui reprochait de ne pas répondre à ses invitations sous prétexte de ne pas avoir en haute estime tous ses invités et il le qualifiait vertement d'être coléreux, vindicatif, emporté, méprisant et présomptueux ! Une amitié s'était liée entre ces deux hommes, dès leur jeunesse, étant condisciples chez les jésuites, puis lors des voyages communs à travers la France

terrestres non encore explorées. De ce point de vue, il s'opposait à Buffon qui défendit la théorie « des anciens mondes » (1778-1779). Il poursuivit cette démarche monographique avec les glossopètres -dents de requins-, les crapaudines -dents de poissons- et les bélemnites – rostre de céphalopodes¹⁰¹ - (Guettard, 1786c, 1786d, 1786e)¹⁰². Et dans sa dernière collection, il s'amuse avec les différentes idées et objets fossiles qui ont été connus sous le nom de pierres figurées dont il propose même de nombreuses figures expliquées. Il joue des « jeux de hasard » démontrant ainsi l'ignorance et l'amour-propre de la nature humaine (Guettard, 1786b). Rien d'étonnant alors, à ce qu'il ait écrit **la lettre manuscrite** (Guettard, n.d. post.1768a, Annexe 17) qui nous intéresse, suite à la parution du livre de Voltaire en 1768 **pour dénoncer les erreurs grossières** de son point de vue. Selon nos recherches, nous n'avons trouvé aucune autre trace, ni brouillon, ni minute, ni envoi effectif d'une lettre à Voltaire (1704-1778/1977-1993)¹⁰³. Peut-être, n'osa-t-il jamais envoyer ou imprimer sa contre-argumentation, très ironique et très dure pouvant ternir la renommée de ce dernier ?

Convergence vers la paléontologie

Ainsi les différents centres d'intérêt de J-E. Guettard, plus particulièrement la minéralogie et les différents collaborateurs rencontrés l'incitèrent à se positionner sur la nature des fossiles :

- ses études premières avec Antoine de Jussieu (1718, 1722, 1723) qui s'était intéressé aux plantes figurées associées aux mines de charbon de Saint Chaumont, puis aux cornes d'Ammon, aux pierres de foudre, aux yeux de serpents et crapaudines¹⁰⁴
- son poste d'assistant dans le laboratoire de Réaumur qui avait raisonné sur les coquilles fossiles des faluns de Touraine (1720)
- son autonomie financière et ses voyages exploratoires, tout d'abord, à travers de nombreuses provinces de France puis d'Allemagne, en vue d'établir une première carte minéralogique (1746 ; 1763), puis en Pologne (1762)¹⁰⁵

¹⁰¹ Ce fossile reste une énigme pour Guettard et il espère trouver son analogue vivant dans les mers. Il rappelle combien ce fossile a été un des plus soumis à l'imagination humaine, vu la diversité des hypothèses formulées à son sujet, stalactites, plantes, coraux, cornes d'Ammon, dents de gros poissons, pointes d'oursins et même urine de Lynx !

¹⁰² Guettard, J.-É. (1783). *Mémoires sur différentes parties des Sciences et Arts, Tome cinquième*. Paris : Philippe-Denys Pierres : "Septième mémoire- Sur les Glossopètres ou Dents de requins fossiles" pp. 146-187 ; "Huitième mémoire- Sur les Bufonites ou Crapaudines " pp. 188- 214 ; "Neuvième mémoire- Sur les Bélemnites", pp. 215-296. Ces articles sont repris dans sa *Nouvelle Collection de Mémoires*, éditée l'année de son décès (Guettard, 1786c, 1786d, 1786e).

¹⁰³ La correspondance de Voltaire a été archivée en 13 volumes dans la Bibliothèque de la Pleiade. Ces lettres commencent en décembre 1704 et se terminent en mai 1778. Elles ont été sélectionnées parmi 21 000 lettres recensées, plus de 15 000 lettres ont été retenues. Théodore Besterman, éditeur scientifique anglais, les a annotées. Ces notes ont été traduites et adaptées par Frédéric Deloffre.

¹⁰⁴ Fossiles nommés actuellement respectivement, ammonites, bélemnites, différentes dents de poissons

¹⁰⁵ Mémoire sur la nature du terrain de la Pologne & des minéraux qu'il renferme- première et seconde parties. *Mémoire de l'Académie Royale des sciences de Paris*.

-sa fonction précoce de conservateur des cabinets d'Histoire naturelle¹⁰⁶ qui lui permit d'échanger une correspondance, avec de nombreux naturalistes amateurs ou reconnus, qu'il complétait par des lectures sur les pays limitrophes tels que l'Angleterre et l'Allemagne.

En parallèle, lors de ses nombreuses excursions à travers la France, Guettard découvrit ainsi de nouveaux fossiles. Il déclenche l'étonnement public par la découverte d'un bois fossile de renne près d'Étampes (Guettard, 1751 ; 1768 ; 1783b¹⁰⁷), et il indique les ossements fossiles du gypse de Montmartre devenu célèbre avec Cuvier. Concernant les invertébrés il fut le premier à signaler l'existence des trilobites dans les ardoisières d'Angers (1757), le premier à reconnaître la vraie nature des polypiers et des éponges fossiles¹⁰⁸ (1770, 1783a).

Le concept de fossile en pleine compréhension, le problème scientifique récurrent de l'origine des fossiles

Le milieu du XVIII^e siècle voit apparaître les dictionnaires où émergent **les premières définitions de fossile relayant celles de pétrification et de pierre figurée** et s'approchant de la définition actuelle. Les naturalistes de cette époque ressentent le besoin d'apporter un nouvel éclairage en minéralogie, au vu des nouvelles découvertes, dans la connaissance du règne minéral des fossiles. Ainsi, le baron d'Holbach (1757) a participé à l'édification de la fameuse Encyclopédie de Diderot et D'Alembert qui embrasse toutes les disciplines, en assurant les articles de minéralogie et de métallurgie. Dans son article spécifique sur "fossile" il distinguait les "fossiles natifs" -terres, pierres, pierres précieuses, cristaux et métaux- **des "fossiles étrangers à la terre"** -coquilles, corps marins, bois, plantes, ossements et toutes pétrifications enfouis en terre- « Ce sont des corps appartenans, soit au regne mineral, soit au regne végétal : tels que les coquilles, les ossemens de poissons & de quadrupedes, les bois, les plantes, &c. que l'on trouve ensevelis dans les entrailles de la terre où ils ont été portés accidentellement. » (Holbach, 1757). Nous pourrions être surpris qu'il emploie "règne

¹⁰⁶ Mémoire sur plusieurs morceaux d'Histoire naturelle, tirés du cabinet de S.A.S. Mgr. Le Duc d'Orléans, 1753. *Histoire de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 63 & *Mémoire de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 369-400. Il n'aborde dans ce mémoire que la partie minéralogique s'intéressant aux roches (stalactites, crystal de roche ou calcite, schistes, quartz, granits, pierres talcqueuses, pierres de volcans) Il annonce, s'il est agréé par l'Académie, une deuxième partie de ce mémoire, sur les animaux, dans un prochain volume ; mais il n'a pas donné suite.

¹⁰⁷ La prolixité de J.-É. Guettard est indéniable et il traite des ossements fossiles de vertébrés à deux reprises en 1768 et en 1783 : Il aborde même les fossiles d'os humains : Onzième mémoire - Sur les Os humains fossiles. In *Mémoires sur différentes parties des Sciences et Arts* (Tome cinquième, pp. 314-330). Paris : Philippe-Denys Pierres.

¹⁰⁸ J.-É.. Guettard consacre deux volumes entiers aux coraux et tuyaux vivants et fossiles, et il reprend cette problématique d'analogie entre les vivants et les fossiles en 1783. Il termine cette étude sur un autre groupe de vivants problématiques, les éponges. Que ce soit pour les trilobites ou pour les coraux fossiles, c'est en raisonnant par analogie avec des animaux vivants actuels qu'il éclaira la véritable nature de ces découvertes : pour les trilobites, il reconnaît leurs affinités avec les crustacés, car il les compare aux poux de mer ou cyames ; pour les polypiers, il transpose les découvertes récentes de Marsigli, Peyssonnel et Bernard de Jussieu sur les polypes vivants.

minéral", et non "règne animal", en association avec le règne végétal. Il paraît peu envisageable de supposer que ce soit un lapsus de la part de ce savant. Car il pose clairement le problème par ailleurs, non pas de leur origine, mais de leur formation « comment ces substances appartenantes originairement à d'autres regnes ont été, pour ainsi dire, dépayées & transportées dans le regne minéral » (ibid.). Or, il cite ensuite, pour illustrer, des restes organo-minéraux d'origine animale. Ou encore, cela pourrait-il être un indice, du fait que les fossiles au sens moderne aient eu tant de mal à être extraits du règne minéral ? Ou enfin, estimait-il que les parties minérales des animaux appartiennent au règne minéral en ne considérant que leur nature et non leur origine ? De même qu'en 1768, un médecin français Bordeu¹⁰⁹ (1722-1776) avait retrouvé les différents règnes de la nature dans le corps humain. Il attribuait les ongles, les cheveux et les poils qui poussaient au règne végétal (Bachelard, 1938/2004, p. 183), sans doute pouvait-il attribuer les os au règne minéral ? De même, Élie Bertrand (1763) s'est engagé dans **une œuvre spécifique et universelle en oryctologie**¹¹⁰ ou histoire des fossiles. Cet ouvrage est le premier dictionnaire spécialisé en langue française sur ce sujet. Ce naturaliste veut se distancier de la multitude des auteurs, des langues, des productions des différents pays, des dénominations plus ou moins fantaisistes, des idées contradictoires pour converger vers une méthode scientifique universelle et reconnue. Par rapport au terme générique premier d'étymologie latine "fossilis" qui désignait « tout ce qui se tire de la terre, ou qui se trouve dans son sein » (ibid., p. XJ) ou encore « tout ce qui croît ou se forme en terre, sans paroître avoir de vie » (ibid., p. 240), la discussion avec Guettard aurait sans doute porté ses fruits. Bertrand séparait les "fossiles propres" des pétrifications qu'il qualifiait de "**fossiles accidentels**". Ils discernaient ces derniers comme étant des productions se trouvant dans la terre mais qui ne doivent pas leur origine à la terre même

« On donne communément le nom de pétrifications, aux restes des végétaux & des animaux, qui sont devenus pierre, terre, minéraux, ou qui sont simplement altérés & calcinés dans les couches du Globe de la terre, & qui ont été diversement changés, sans avoir perdu leur tissu, leur composition ou leur forme principale, ensorte qu'on peut les reconnoître comme ayant appartenues au Règne végétal & au Règne animal » (ibid, p. 110).

Nous pouvons être étonnés, qu'il affirme par ailleurs, que ces pétrifications ou fossiles accidentels « ne servent qu'à l'agrément, ou à la curiosité ; telles sont les pétrifications : c'est le luxe de la science » (ibid., p. XXIX).

Cette **difficulté de faire émerger la paléontologie de la minéralogie** est aussi décelable chez Guettard. Dans les légendes associées à sa carte minéralogique d'Angleterre et de France (1746, p. 392, planche 32) ou à son trajet géologique en Allemagne (1763, p. 228, planche 12), il reprend soit les symboles des chimistes, soit ceux employés par le Comte de Marsilli

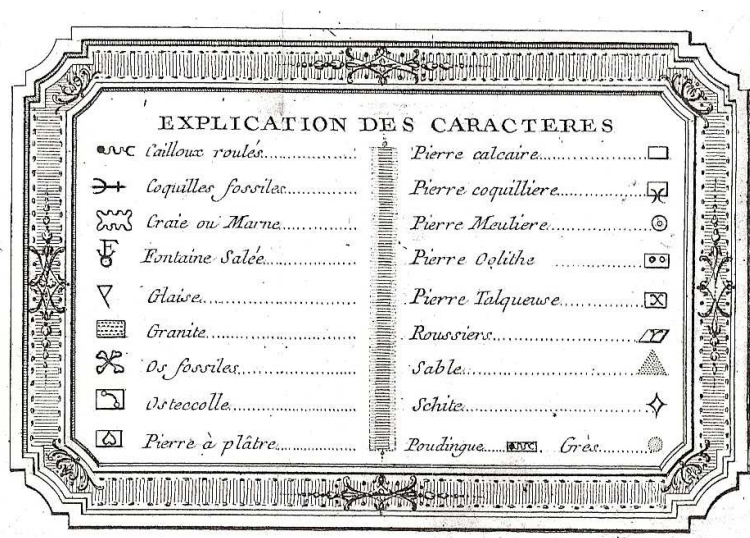
¹⁰⁹ L'ouvrage, dans lequel Bordeu développe cette idée, est cité aussi par Georges Cuvier et T. Magdeleine de Saint-Agy dans *Histoire des sciences naturelles depuis leur origine jusqu'à nos jours* (1841, p. 202-203).

Bordeu, T. de. (1768). *Recherches sur le tissu muqueux*. Paris : Pierre Franc Didot le jeune. Il participa à certains articles de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert.

¹¹⁰ Le mot oryctologie a été peu utilisé et vient du grec pour signifier "creuser"

pour ses cartes métallurgiques, soit il en a imaginé de nouveaux¹¹¹. Voici par exemple, la légende utilisée pour son trajet en France et en Allemagne (1763).

Iconographie N° 2 : **Explication des caractères de la carte minéralogique du trajet en France et en Allemagne par Guettard**



Ce système ponctuel de symboles double le système des trois bandes pour organiser ses cartes minéralogiques. Si nous comparons une table des caractères chimiques ayant cours au XVIII^e siècle (non daté ; Annexe 18) et les symboles que Guettard avait choisis pour les fossiles accidentels dans sa table générale (Guettard, non daté¹¹² ; Annexe 19), nous voyons que le caractère de légende désignant les « coquilles fossiles » s'apparente très nettement au caractère choisi par les chimistes pour la chaux vive. Il décline ainsi, leur affiliation aux roches calcaires. Peut-on extrapoler aussi, qu'il associe la croix symbolisant la mort pour représenter d'anciens vivants ? En effet, ces fossiles sont des êtres vivants morts et ils sont de même nature que la roche encaissante, la pierre à chaux. Dans les trois bandes de terrains géologiques qu'il identifie, la bande marneuse et la bande sablonneuse sont fossilifères avec une abondance de fossiles, plus marquée chez la dernière (Guettard, 1746, p. 368). Quant au caractère désignant les « corps marins *enrobés* de mines de fer », comme peuvent l'être souvent les ammonites pyriteuses, il associe la flèche du fer (litharge ou oxyde de plomb) et l'arc de la chaux. Pour le bois fossile, il emprunte peut-être le caractère des huiles. Quant aux autres fossiles comme le bois pétrifié, les bélemnites, les poissons ou la corne de cerf, leurs

¹¹¹ Dans une lettre de Lavoisier sur « Les moyens d'amener l'eau à Paris et sur l'Atlas minéralogique de la France », celui-ci explique succinctement le projet de cartes de Guettard dans lesquelles il surimpose à la géographie la nature des substances terrestres en l'accompagnant d'une légende « il s'est servi à cet effet de caractères minéralogiques analogues à ceux que les anciens chimistes ont employés ». (éd. 1865) *Œuvres de Lavoisier* (tome 3, p. 259).

¹¹² Ce document provient du fond des manuscrits de Guettard des 5 boîtes non classées. Elles viennent d'être archivées et quatre portent sur la minéralogie. Ce qui laisse espérer des découvertes intéressantes. De même, pour le dossier Guettard de l'Académie des sciences que nous n'avons pas exploité.

symboles ne semblent pas avoir de correspondance avec les symboles chimiques. Ainsi, il dissocie les fossiles, issus du règne animal (coquilles, corps marins, os), des roches qui les contiennent. Mais, ce n'est pas pour autant, que la séparation conçue en trois règnes de la nature les rende indépendants les uns des autres, d'une façon absolue. Cette indépendance est peut-être une vue de l'esprit précipitée et superficielle d'après Élie Bertrand

« Tout le monde sait qu'on a partagé les corps naturels de cette terre en trois règnes ; celui des FOSSILES, qui croissent seulement ; celui des VEGETAUX, qui croissent & vivent ; celui des ANIMAUX, qui croissent, vivent & sentent. [...] Que sçavons-nous s'il n'y a pas des fossiles, qui tiennent par quelque'endroit à une sorte de vie ? [...] On les (les lithophytes ou les coraux) voit donc ainsi se rapprocher du règne des fossiles par leur test, qui est une espèce de concrétion pierreuse ou calcaire, de celui des végétaux par leurs branches & leurs bouquets, & ils tiennent certainement à celui des animaux par le polype, ou le vers mollusque, qui est l'architecte de cet édifice à cellules, auquel il est lié d'une manière inséparable » (Bertrand, 1763, p. XVIIJ-XVIJJ).

Cette idée prudente aura son importance pour la compréhension du passage d'un règne à l'autre, lors de la transformation de la matière, par fossilisation. Avant d'examiner la richesse de l'argumentation mobilisée dans la discussion entre Guettard et Voltaire, voyons le statut de son adversaire.

6. 2.2 Le statut de son détracteur, Voltaire, par rapport au savoir paléontologique

Signalons tout d'abord, que Guettard n'est pas le seul à s'être disputé avec Voltaire sur l'origine des fossiles. Suite à son exil d'Angleterre, Voltaire gardant l'anonymat¹¹³, fut hébergé durant l'hiver 1728-1729 à Dieppe lors de son retour en France, par un apothicaire Jacques-Tranquillain Féret¹¹⁴. Il put admirer, tout comme Guettard d'ailleurs, le superbe cabinet d'histoire naturelle de ce naturaliste passionné plus particulièrement de coquillages fossiles. Voltaire, jeune savant sarcastique, eut à ce propos, déjà de vives controverses qui l'opposèrent à son propriétaire (Bignot, 1995, p. 60). Cela va à l'encontre de M. Carozzi qui pense que la seule conversation rapportée, qu'ait eu Voltaire avec un naturaliste du XVIII^e siècle, est celle avec Guettard (Guettard, 1783a, p. 12 ; Carozzi, 1983, p. 90).

Un illustre notable populaire préoccupé de l'origine des fossiles

¹¹³ Voltaire avait déjà fait deux séjours à la Bastille. Le premier en 1717-1718 pour avoir rédigé un pamphlet contre le Régent Philippe d'Orléans et le second en 1726 suite à une altercation avec le Chevallier de Rohan. A sa libération il est sommé par ordre royal de quitter le royaume de France et il part s'exiler en Angleterre officiellement de 1726 à 1729.

¹¹⁴ Il serait intéressant de compléter cette approche par deux articles :

Guédon, J.-C. (1974). Le retour d'Angleterre de Voltaire et son séjour chez Jacques-Tranquillain Féret, de Dieppe. *Studies on Voltaire*, 124, 137-142

Bignot, G. (1989). Le studieux séjour de Voltaire à Dieppe au cours de l'hiver 1728-1729. *Connaissance Dieppe*, 51, 6-10

Voltaire (1694-1778) fut un écrivain réputé, comme bel esprit impertinent et poète mondain. Sa vie sociale mouvementée et ses écrits engagés pleins d'humour et d'ironie le rendirent très populaire. D'autant plus qu'il abordait, dans tous les genres, tous les sujets littéraires, sociaux et religieux et même scientifiques. Cette notoriété lui valut d'être nommé directeur de l'Académie Française, le 9 mai 1746. Ce fut cette même année, qu'il publia, anonymement, un premier essai dans le domaine des sciences (Voltaire, 1746) qui lui permettait de douter publiquement des pétrifications et de leurs nouvelles interprétations admises. En tant que philosophe, il osait, courageusement, entrer en polémique et luttait contre toute forme de superstition et d'intolérance, défendant de nombreuses valeurs de l'Homme et des sociétés. Il reléguait « les superstitions et les fausses sciences sur le compte de machinations et de fourberies cyniquement inventées par des derviches astucieux et perpétuées par des nourrices ignorantes » (Canguilhem, 1988/2000, p. 33). En effet il luttait par exemple contre les préjugés qui sont des « opinions sans jugement » ou des « erreurs d'anciens charlatans, qui jugèrent sans raisonner, et qui, étant trompés, trompèrent les autres [...] enfin si votre précepteur vient ensuite enfoncer dans votre cervelle ce que votre nourrices y a gravé, vous en tenez pour votre vie » (Voltaire, 1754/1950, pp. 294-295). C'est pourtant ce même reproche que lui fera Guettard plus tard pour s'être fourvoyé sur la nature des fossiles et avoir cautionné d'autres naturalistes amateurs (Guettard, 1783a, pp. 10-12). En tant que curieux de la Nature, il s'aventura dans des spéculations s'insurgeant soi-disant contre des erreurs et défendant des vérités. Il ne désirait pas que les scientifiques s'assoient dans leurs certitudes et voulait avec eux « examiner plusieurs objets de notre curiosité avec **la défiance qu'on doit avoir de tout système, jusqu'à ce qu'il soit démontré aux yeux et à la raison** » (Voltaire, 1768/1879, pp. 125-126). Admettre le nouveau système de la nature, par les jeux de la nature acceptés alors, comme pétrifications de mondes marins passés, lui semblait être un « jeu de l'esprit » à éprouver encore. Et parmi toutes les questions que l'Homme, éternel ignorant de la nature, devait se poser, c'est **cette question sur l'origine des fossiles qu'il met en avant dans un de ses poèmes**, rappelé dans l'introduction de l'ouvrage précité. Il est intéressant de remarquer que cette question pour lui est toujours aussi cruciale, trente ans après une première édition de 1738. Dans ces premiers vers, il faisait référence initialement à Réaumur (Voltaire, 1738/1877, p. 401) qu'il admirait en tant que célèbre physicien et naturaliste, et qu'il interpellait ici directement au vu de ses écrits sur les fossiles des faluns de Touraine.

« Réaumur, dont la main si savante et si sûre
A percé tant de fois la nuit de la nature,
M'apprendra-t-il jamais par quels subtils ressorts
L'éternel Artisan fait végéter les corps ? »

L'hypothèse de la végétation des coquilles fossiles est déjà mise en avant et perdue dans la pensée de Voltaire, comme un des systèmes explicatifs tout aussi plausible qu'un autre. D'où, sans doute, son intérêt pour les écrits de La Sauvagère (1763, 1776) qu'il encouragea, ce que

nous verrons par la suite. Ne le quittant pas jusqu'à la fin de sa vie, cette incertitude se changea même en refus railleur dans une de ses lettres adressées à M. de La Sauvagère, le 10 août 1777, « Un jour viendra, Monsieur que vos découvertes détruiront toutes les ridicules charlataneries dont on nous berce. On rougira d'avoir dit que les Alpes et les Pyrénées ont été formées par les mers». (Voltaire, 1704-1778/1977-1993, Tome 13, pp. 23-24).

Quelques échanges infructueux avec Buffon

En prémices de la dispute qui nous intéresse sur l'origine des fossiles de coquilles et de poissons entre Guettard et Voltaire, rappelons que ce dernier avait déjà reçu une réponse vive et ironique de la part de Buffon concernant son opinion sur les pèlerins dans un écrit anonyme de 1746 (Gohau, 1990b, p.153). Buffon critiquait la légèreté de ses arguments anthropocentrés sur une échelle de temps historique, mobilisant les repas de Romains ou les croisades en Syrie. Cette première hypothèse, naïve et ridiculisée de Voltaire, a focalisé les objections de Buffon. Elle démontre plutôt, la résistance de Voltaire à accepter la formation des chaînes de montagnes par le déplacement des mers anciennes en plein cœur des continents actuels. La théorie de Buffon soutenait cette idée en prenant comme preuve, la répartition des coquilles fossiles en quantité et sur des surfaces immenses

« ... il paroît certain que la terre actuellement sèche et habitée a été autrefois sous les eaux de la mer, et que ces eaux étoient supérieures au sommet des plus hautes montagnes, puisqu'on trouve sur ces montagnes et jusque sur leurs sommets des productions marines et des coquilles, qui comparées avec les coquillages vivants sont les mêmes, et qu'on ne peut douter de leur parfaite ressemblance ni de l'identité de leurs espèces. Il paroît aussi que les eaux de la mer ont séjourné quelque temps sur cette terre, puisqu'on trouve en plusieurs endroits des bancs de coquilles si prodigieux et si étendus, qu'il n'est pas possible qu'une aussi grande multitude d'animaux ait été tout-à-la-fois vivante en même temps. » (Buffon, 1749, second discours, p. 77).

La couverture de la totalité du globe par les mers dépasse l'entendement de Voltaire. A ceci, s'ajoute peut-être une adversité entre ces deux personnages illustres, l'un directeur de l'Académie Française des Belles-lettres, et l'autre, intendant du jardin du roi et trésorier de l'Académie Royale des Sciences. Dans les correspondances nombreuses de Voltaire (1704-1778/1977-1993), autant transparaît dans ses premières lettres une grande estime envers Buffon auquel il fait « mille compliments » et qu'il veut suivre dans les vérités qu'il dévoile¹¹⁵, autant un discrédit définitif et répété se déclare dès 1768 « Notre nation est trop ridicule. Buffon s'est décrédité à jamais avec ses molécules organiques, fondées sur la prétendue expérience d'un malheureux jésuite. Je ne vois partout que des extravagances des

¹¹⁵ Voltaire. (1704-1778/1977-1993). *Correspondance* (Tome 2, p. 253). "lettre 1290 adressée à Claude-Adrien Helvétius du 3 octobre 1739 à Paris " « Je suis l'enfant perdu d'un parti dont M. de Buffon est le Chef ». Et (Tome 3, p. 73). "lettre 2462 à Guillaume-Thomas-François Raynal àLuneville le 30 juillet 1749" « Je ne ferai venir que celui [ouvrage] de M. de Buffon, il pourra m'apprendre des vérités ».

systèmes de Cyrano de Bergerac, dans un style obscur et ampoulé »¹¹⁶ ou encore « je ne pus m'empêcher de rire de ces beaux systèmes, de celui de Buffon qui prétend que les Alpes ont été fabriquées par la mer »¹¹⁷. Et il termine par les « charlataneries » ou le « galimatias physique de Monsieur le Comte »¹¹⁸.

Guettard tout comme Voltaire ne croyait pas au système de Buffon et il s'insurge contre les théories scientifiques ébauchées en se moquant ouvertement de lui

« Encore de Buffonnades Mon cher comte, jusqu'à quand serés vous le Syrano de Bergerac. Comment avec l'esprit brillant que vous avés, avec la phrase Elegante et delicate dont vous tracés vos idées hypothethiques, est-ce que vous ne pouviés embellir les verites communes. Votre esprit est donc porté au Romanesque. Et bien faites des Romans, mais qu'ils ne soient pas physiques. [...] Vous estes, on n'en peut douter, naturellement porté au romanesque, qui l'auroit cru a la façon dont vous avés débuté dans votre premier volume, vous commencés par réfuter tous les systèmes qui avoient été faits sur la formation de la terre. On s'imaginoit que vous donneriés que des faits et des faits vrais et pas du tout, vous vous jettés à corps perdu dans la mer obscure des idées hypothétiques, et vous y mourrés noyé pour toujours » (Guettard, n.d. post. 1779¹¹⁹, feuille 157 verso ; Roger, 1962, p. cxxxix).

Or en opposition à Buffon, Guettard était très attaché aux multiples observations sur le terrain et à leurs corrélations qui lui paraissaient nécessaires, voire même suffisantes, plébiscitant ainsi une science positive. Dans cette même lettre, il traite Buffon de « physicien à la toilette » et il relègue donc sa théorie de la Terre de « roman d'antichambre », bon à amuser les femmes de chambres et les laquais. Comme il rappelle au «Grand Buffon, le Prince françois », sa réputation peut être surannée et son obstination sur ces idées cosmologiques complètement déplacée « Vous tenés, à ce qu'il me paroît, fortement à vos idées que vous avés crues dans votre jeunesse. Vous avés bien de la peine à oublier vos Eclaboussures solaires ». Ainsi les animosités et le discrédit général envers Buffon et sa théorie de la Terre se manifestaient tant chez les philosophes sceptiques, les savants physiciens en cosmogonie ou positivistes, que chez les théologiens partisans du système du Déluge biblique. Il est vrai que «l'oeuvre géologique de Buffon est un mélange déconcertant d'hypothèses grandioses et peut-être géniales, d'observations dispersées, non systématiques mais parfois très précises sur le terrain, d'expériences minutieuses très originales mais pas nécessairement bien conçues» (Roger, 1995b, p.58). Buffon, présenté ainsi, paraît être ,effectivement, l'antithèse de Guettard. Par d'autres traits de caractères, il en était de même pour Voltaire.

¹¹⁶ Voltaire. (1704-1778/1977-1993). *Correspondance* (Tome 9, p. 599, extrait de la "lettre 10888 du 2 septembre 1768" adressée à D'Alembert où il critique entre autres, Needham, naturaliste irlandais défenseur de la génération spontanée

¹¹⁷ Voltaire. (1704-1778/1977-1993). *Correspondance* (Tome 10, p. 390). Extrait de la "lettre 11920 du 20 août 1770" au roi de Prusse, Frédéric II

¹¹⁸ Voltaire. (1704-1778/1977-1993). *Correspondance* (Tome 12, p. 654). Extrait de la "lettre 14755 du 18 octobre 1776" au marquis de Condorcet.

¹¹⁹ Nous pouvons supposer que cette lettre non datée serait plutôt à situer après la parution en 1765 du volume de l'ouvrage "De la nature, Seconde vue" dans lequel Buffon revient sur des problèmes liés à la cosmologie pour esquisser une théorie unifiée de la Nature, ou alors ,comme l'affirme J. Roger, postérieur au 10 avril 1779, jour de parution des *Époques de la Nature* «les allusions aux éclaboussures solaires et au temps où les planètes ont été ou seront habitables, ne peuvent concerner que les Epoques de la nature et les deux premiers tomes des suppléments » (1962, p. CXL).

Un personnage contraire à Guettard

Voltaire semble être un personnage à l'opposé de Guettard. Premièrement, Voltaire fait preuve d'éclectisme alors que Guettard, naturaliste renommé attaché au cabinet du duc Louis d'Orléans, s'adonne uniquement à l'histoire naturelle. L'écrivain tente d'approcher tous les sujets mais avec un succès variable comme Guettard voudra bien lui rappeler d'une façon acerbe

« Mais prétendre renverser des opinions qui ont au moins la vraisemblance pour eux par des raisonnements qu'on prendroit (sic) plutôt pour des badineries, que pour des raisons sérieuses c'est mépriser les problèmes et se moquer des savants. Les plus grands hommes sont comme les ignorants exposés à se tromper même sur les termes lors qu'ils parlent d'une science qu'ils n'ont pas étudiée avec soin et qu'ils n'ont fait qu'effleurer. M. de Voltaire a commis cette faute en parlant des pierres figurées » (Guettard, n.d. post. 1768a, f. 54 verso-55 recto, Annexe 17).

Guettard souhaite le reléguer à sa place d'écrivain ou de philosophe et ne l'admet pas dans le cercle de réflexion de la communauté scientifique. Deuxièmement, Voltaire brille dans les fêtes et la société savante, quand Guettard consacre sa vie à la recherche scientifique, dans un isolement relatif, en refusant les mondanités comme il fut rappelé dans son éloge

« Cette espèce d'aversion pour tout ce qui avoit de la grandeur et de l'éclat, s'étendoit jusqu'à la supériorité de gloire & de génie ; il croyoit voir dans toutes les grandes réputations, un mélange de charlatanerie qui les avilissoit à ses yeux. Le talent du style, l'art de présenter les objets, ne lui paroissoient que des moyens de tromper » (Condorcet, 1786, p. 60).

D'ailleurs Malesherbes, ami de Guettard, lui reprochera aussi, son mépris présomptueux des festivités auxquelles il l'invitait. Guettard lui répondit dans une de ses lettres¹²⁰, de n'avoir aucun goût pour les festins mondains et leurs badineries qu'il considérait comme du temps perdu et bien mal employé. Il préférerait vouer son temps à poursuivre sa quête de raisons et de vérité.

6. 2.3 Etude de la controverse Voltaire-Guettard

Découverte d'un manuscrit de Guettard non daté

Le manuscrit, apparemment inédit que nous avons découvert de Guettard (Annexe 17, 20 et 26), est une réponse adressée à Voltaire qui reprend certains chapitres du livre de Voltaire paru en 1768, *Des Singularités de la nature*. Par déduction, le premier indice de datation est d'être postérieur, obligatoirement, à ces écrits dont il reprend le plan et les titres. Cette réponse de Guettard à Voltaire, semble-t-il, n'a jamais été intégrée dans l'œuvre, pourtant immense, publiée par J.-É. Guettard. Le deuxième indice de datation est dans l'introduction - quarante pages !- de son troisième et dernier mémoire sur les coraux fossiles, en 1783. Les

¹²⁰ Cf. www.corpusetampois.com "lettre du 29 juillet 1752" adressée à Malesherbes

deux premiers mémoires sur ce sujet, datant aussi de 1768, il est peu probable que le temps ait été suffisant pour les échanges. Quinze années plus tard, nous avons donc repéré juste une allusion pour démontrer « que les preuves de M. de Voltaire sont des plaisanteries » (Guettard, 1783a, p. 11). Guettard y rappelle aussi, sa visite à Voltaire dans la propriété de Ferney que l'écrivain avait achetée en 1758 et qu'il conserva jusqu'à sa mort en 1778. Mais dans cet ouvrage, Guettard ne développe aucunement, comme il l'a fait dans ce manuscrit, les erreurs scientifiques de Voltaire. Peut-être, a-t-il envoyé uniquement cette réponse à Voltaire dans une correspondance strictement privée ? Peut-être, ne désirait-il plus la publier dans son ouvrage datant de 1783, cinq ans donc après le décès de Voltaire ? La renommée de celui-ci et le respect qu'il pouvait lui porter par ailleurs, pour ses autres écrits philosophiques et ses convictions humanistes ont pu être un frein à une publication dure et sévère à son encontre. Car le ton moqueur et acerbe que Guettard prit à l'encontre de Voltaire, peut-être en plagiant son style, pouvait ternir leurs postérités. En voici un extrait des plus truculents

« Vous badinés M. De Voltaire mais vous badinés mal dans cet endroit [...] Quand on veut badiner les découvertes des hommes savants, il faut être savant soy même M. de Voltaire au moins dans le genre dont on parle. [...] Mais M! les sens sont bien trompeurs, vous l'avés dit sans doute bien des fois, mais ici vous donnés tout aux sens, ou bien vous badinés, mais vous saviés que les railleries ne sont pas des convictions. C'est un de vos axiomes. [...] Dans bien des occasions, il (Voltaire) n'aurait pas tant débité d'absurdités et de faussetés. Ses ouvrages en fourmillent comme le vieux fromage fourmille de mites¹²¹. [...] M. de Voltaire a réellement été dans presque tout ce qu'il a vu un vray Don Quichotte¹²² qui voyoit toujours le contraire de ce que les hommes sensés voyoient. [...] il faut avouer que M. de Voltaire a l'imagination plus vive qu'il n'a de bons yeux » (Guettard, n.d. post. 1768a, f. 56-58 ; Annexe 20).

Le **troisième indice** est dans **la rhétorique pittoresque de cette réponse** qui manifeste que Voltaire (1694-1778) est à la fin de sa vie et Guettard semble s'adresser à lui de son vivant en l'accusant implicitement de radoter suite à sa vieillesse

« Si M. de Voltaire parle du caillou il fait un nombre de pourquoi. Pourquoi des campagnes en sont garnies, d'autres n'en engrange point, pourquoi les uns sont gros et grands, les autres étant petits, pourquoi &c. M. de Voltaire est comme un enfant qui ne sait rien, il ne cesse de faire des pourquoi. Si il voyoit M. de Voltaire il demanderoit pourquoi il est plus grand que luy pourquoi il est si décharné, pourquoi il n'a plus que la peau et les os pourquoi &c. Si M. de Voltaire continue de faire tant de question eut daigné lire les naturalistes il aurait eut la solution de plusieurs de ces questions. » (Guettard, n.d. post. 1768a, f. 51 verso et 52 recto ; Annexe 17).

¹²¹ Ceci est une allusion directe au chapitre des *Singularités de la nature* sur le corail où il mentionne par analogie « un vieux fromage de Sassenage » produit par « des mites innombrables qu'il renferme » (Voltaire, 1768, p. 129). Voltaire fait référence aux expériences du physicien français académicien et collègue de Réaumur, l'abbé Jean Antoine Nollet (1700-1770). Ce dernier reprit l'expérience célèbre de Needham sur la génération spontanée des insectes.

¹²² Guettard a barré Sancho Pacha et la référence aux moulins à vent. Le livre « Don Quichotte de la Manche » écrit par Miguel de Cervantes (vol. 1, 1605 ; Vol. 2, 1615). Ce roman raconte les voyages et les nombreuses aventures à travers l'Espagne d'un personnage de naissance noble, Don quichotte, accompagné de son écuyer, Sancho Panza. Obsédé par les livres de chevalerie, ce héros décida de devenir un chevalier errant et de parcourir l'Espagne médiévale sur sa jument Rossinante en combattant le mal et protégeant les opprimés. Il est considéré comme fou car il prend les auberges ordinaires pour des châteaux enchantés, les filles de paysans pour de belles princesses et il combat vainement contre des moulins à vent qu'il confond avec des géants envoyés par de méchants magiciens.

En effet, tout du long du texte, il l'interpelle en lui reprochant son manque de sérieux puisque Voltaire n'a même pas pris la peine de lire attentivement les travaux des Naturalistes sur les différents sujets qu'il aborde. Et, entendons plus particulièrement les écrits de Guettard sur les pierres figurées, les accidents des coquilles marines fossiles et actuelles, les coraux ou les polypes. **Le quatrième indice** peut être dans la résistance manifeste de Voltaire à l'égard des nombreux systèmes de la Terre construits par les Physiciens. Et il multiplie ses écrits les mettant en doute sur l'origine et la diversité des pierres, sur l'origine des montagnes, sur les coquilles fossiles, sur la formation de la Terre. Après l'édition originale de 1768, suivirent les éditions de 1771 et 1774 (Voltaire, 1768/1879, pp. 153 et 155) en lien avec les articles parus à propos des *Questions sur l'Encyclopédie*¹²³, tels celui des Coquilles (Alembert, 1751). De plus Voltaire met en doute la démonstration de Réaumur, maître de Guettard, à propos des faluns de Touraine qu'il réduit à quelques coquilles (Voltaire, 1768/1879, p. 155). Et doutant de tout, il interpelle Guettard sur ces écrits à propos des gros ossements fossiles trouvés dans sa région (Guettard, 1751)

« On découvrit, ou l'on crut découvrir, il y a quelques années, les ossements d'un renne et d'un hippopotame près d'Etampes, et de là on conclut que le Nil et la Laponie avaient été autrefois sur le chemin de Paris à Orléans. Mais on aurait dû plutôt soupçonner qu'un curieux avait eu autrefois dans son cabinet le squelette d'un renne et celui d'un hippopotame » (Voltaire, 1768/1879, p. 155).

Et voilà resurgir l'obstacle artificialiste –pris au sens élargi– exprimé par l'apport d'animaux exotiques ramenés à l'occasion des explorations humaines. Guettard, par la suite, reprit la découverte de ses os fossiles d'animaux terrestres, simplement présentée en 1751 à l'Académie Royale de Paris dans deux mémoires (1768 & 1783b), en corrigeant toujours les erreurs qui avaient pu être dites à ce sujet. Nous pouvons imaginer combien Guettard a été éperonné. D'autant plus que, Voltaire termine d'une façon provocatrice les chapitres sur les pierres, les coquilles fossiles et les systèmes de la Terre en minimisant les « prétentieuses » révolutions à la surface du globe

« La mer, qui laisse des coquilles sur un rivage qu'elle abandonne, est une goutte d'eau qui s'évapore au bord d'une petite tasse [...] Toutes nos énormes révolutions sont un grain de sable à peine dérangé de sa place [...] Que de systèmes, que de charlatanisme pour rendre compte de ces légères variations, si terrible à nos yeux ! Que d'animosités dans ces disputes ! » (Voltaire, 1768/1879, p. 157).

Nous déduisons donc, que ce manuscrit a été écrit entre 1768, l'année de première parution de l'ouvrage qui déclencha cette réponse et 1778, l'année de la mort de Voltaire en penchant pour le situer entre 1774, dernière édition *Des Singularités de la Nature* du vivant de Voltaire, et 1778.

¹²³ Voltaire. (1770-1774/2007). *Les Œuvres complètes de Voltaire* (Tome 2-Questions sur l'encyclopédie par des amateurs). Oxford : Voltaire foundation

Diverses réactions aux écrits de Voltaire sur les fossiles, diverses difficultés d'accepter leur origine organique

Passons maintenant aux arguments scientifiques débattus et à la problématique de l'origine des fossiles. Nous avons déjà replacé la pensée de certains scientifiques des siècles ultérieurs au XVIII^e siècle sur cette pensée naïve a priori de Voltaire, lecture focalisée sur l'idée des pèlerins à l'origine des poissons et des coquilles fossiles (Cf. Chap. 1.3). Nous allons resituer maintenant dans leur contexte **les écrits de Voltaire et de Guettard à travers les diverses réactions de la communauté savante** dans ce milieu du XVIII^e siècle. La confrontation à différentes publications contemporaines traitant de problèmes analogues nous semble importante.

Outre les réactions de Buffon, **d'autres savants de l'époque considérèrent les écrits de Voltaire** comme une ignorance de l'Histoire Naturelle. Ainsi, l'abbé de Sauvages réagit brièvement dans un de ses mémoires de l'Académie Royale de Paris où, nous pouvons supposer, qu'il relate une conversation engagée avec Voltaire puisque son mémoire est de la même année que la fameuse lettre italienne « anonyme » à ce sujet

« On remarquera que la quantité de coquillages pierreux de notre chaîne (du Languedoc) est si prodigieuse dans l'étendue au moins d'une lieue, qu'on ne peut les regarder comme les débris d'une table de ville [...] car qui ne voit qu'il faudroit trop multiplier les villes & les aqueducs, & qu'il faudroit faire élever une infinité de hautes montagnes de coquillages dans les endroits les plus éloignés de la mer ? Ces objections que des personnes d'esprit, mais peu versées dans l'Histoire Naturelle, m'ont faites bien sérieusement, ne méritent pas une plus ample réfutation. Il seroit donc absurde de penser que les coquillages pierreux eussent été portés de main d'homme sur notre chaîne » (De Sauvages, 1746, p. 717).

L'abbé de Sauvages n'a aucun doute sur la nature organique des fossiles qu'il démontre pour les bélemnites et les encrines en réfutant le hasard des jeux de la Nature (De Sauvages, 1747, p. 734). Il offre plutôt des observations sur les relations des coquilles fossiles avec les roches et un questionnement sur les processus de pétrification, des observations sur la diversité des terrains fossilifères ou non et un questionnement sur la chronologie relative des « dix chaînes » du Languedoc (De Sauvages, 1746 et 1747).

Ou encore d'autres savants prirent l'idée des pèlerins pour une plaisanterie du fantaisiste Voltaire. Ainsi, fut la réaction de Falconnet (1671-1762 ?), de l'Académie des Belles-lettres

« Un homme de beaucoup d'esprit qui par la facilité qu'il a d'écrire, se croit en droit de traiter de toutes sortes de matières, avec les plus légères connoissances, regarde l'origine des Glossopètres comme une fable [...] en nous disant que les coquillages répandus sur la terre sont tout simplement ceux que les Pèlerins y ont laissés ; que les poissons pétrifiés trouvés dans la Hesse & sur le sommet des Alpes, sont les restes d'un repas fait dans le voisinage. A-t-il eu d'autres intentions que de divertir les lecteurs ? Pourroit-on croire sérieusement qu'il ait voulu les instruire ? » (Falconnet, 1750, p. 239).

Guettard, quant à lui, a le souci de reprendre dans ce manuscrit point par point les idées développées dans les *Singularités*, Voltaire étant resté sur ses positions encore vingt ans après les *Dissertations*. Guettard le critique, l'accuse d'entretenir son ignorance et se résout à lui répondre « De pareilles idées mériteroient plutôt d'être méprisées, que d'être réfutées, si elles

n'étoient pas de M. de Voltaire » (Guettard, n.d. post. 1768a, Annexe 17). Nous avons retenu les chapitres suivants qui mettent en discussion l'origine des coquilles fossiles : "formation des pierres et des coquilles", "des pierres", "la formation des montagnes". Nous allons étudier successivement la problématique et l'argumentaire de chacun des deux protagonistes dans le cadre théorique de la problématisation en repérant comment a été pris en charge l'obstacle artificialiste sur lequel se sont focalisés de nombreux savants.

Avant, nous pouvons remarquer la **difficulté répétée d'accepter l'origine organique des fossiles, même au sein de la communauté des Physiciens**. Ainsi, Réaumur marque bien l'obligation des naturalistes à accepter finalement la nature organique des fossiles

« Cependant tous ceux qui sont convaincus que la figure régulière de diverses matières pierreuses, montre ce que ces matières ont été autrefois ; je veux dire, tous ceux qui regardent comme des Coquilles pétrifiées les pierres qui ont exactement la forme de quelques Coquilles; qui prennent pour des dents de Poissons, ou d'animaux changés en pierre, les Glossopetres & les autres corps pierreux qui ressemblent parfaitement à des dents, tous ceux, dis-je, qui sont dans ce sentiment, seul probable, & presque généralement reçu, n'auront pas lieu de douter...» (Réaumur, 1715, p. 181).

Car la difficulté résidait ensuite, d'accepter le déplacement d'anciennes mers sur nos terres actuelles, ce qui bouleversait l'entendement fixiste de l'époque. La rupture est grande et la contrainte théorique forte

« Il est plus aisé de rendre raison de la fécondité que le falun donne aux terres, que de trouver la cause qui a assemblé ces fragments de Coquillages dans une si grande étendue de pays. Les Coquilles mêlées parmi ces fragments ne permettent pas de douter s'ils sont venus de Coquilles de Mer. [...] On doit donc admettre, & à présent on n'en est pas effrayé, que la Mer a eu autrefois son lit dans des plaines éloignées » (Réaumur, 1720, p. 411).

Malgré ce quasi-consensus, Bourguet prend encore la peine de développer dix-huit pages en 1742 pour apporter les preuves de l'origine animale des fossiles (Bourguet & Cartier, 1742, pp. 56-74). De même en 1761, dans son cours de chimie -quarante septième leçon- chez l'apothicaire J. Montet à Montpellier, le chimiste Venel marque encore l'incertitude dans laquelle se trouvent certains savants physiciens sur cette question des fossiles (Lehman, à paraître 2010)

« Les chymistes ont pensé depuis longtemps que les pierres calcaires sont d'origine animale, ce qui a donné lieu à ce penser, c'est l'affiliation et la propension des pierres qui semblent appartenir aux animaux. Les pierres coquillaires dont cette composition de la coquille n'est sensible qu'au microscope y sont très propres, ensuite des bancs de coquilles sensibles, par ex. des coquilles d'huitre, enfin les coquilles qu'on ramasse au bord de la mer, qui appartiennent de plus près aux animaux : les lithophiles, les madrepores, les eaux mêmes des animaux calcinés y sont propres. Par cette suite, on a été très porté à croire que les pierres avoient eu une origine animale, cela est presque reçu maintenant » (Venel, 1761, ms 4914, Welcome library).

La démarche de Voltaire n'est donc sans doute pas aussi naïve qu'elle y paraît à première vue. Ce ne serait pas un incident dans le parcours grandiose de l'écrivain et philosophe.

La problématique et le questionnement sur les coquilles fossiles : les Singularités de la Nature versus la réponse de Guettard à Voltaire

Dans l'écrit le plus tardif *Des singularités de la Nature* et par l'analyse de tous les chapitres évoquant les fossiles¹²⁴ voyons précisément le système que Voltaire oppose aux « faiseurs de fables ou de rêveries », dont Guettard faisait partie bien sûr, marquant ainsi son aversion pour la vraisemblance des révolutions du globe et le rôle principal accordé au Déluge universel. Et nous allons d'emblée, confronter sa pensée à celle défendue par Guettard dans sa réponse à Voltaire. Elle est organisée d'une façon similaire en chapitres dont les intitulés sont proches, ce qui nous permet de les mettre en correspondance, appuyée par l'analyse fine du texte (Annexe 17). Les problématiques développées sont de deux ordres, la genèse des roches et la genèse des montagnes, toutes deux intégrant les coquilles fossiles.

Commençons par **la problématique sur l'origine et la diversité des pierres**, réminiscence d'un côté de la problématique analysée au XVII^e siècle et innovation d'autre part sur les coquilles fossiles. Le premier espace -problème (Schéma N°9) organise une corrélation des trois problèmes soulevés déclinant la problématique globale de l'origine des pierres. Il met en correspondance la première partie du chapitre "Des pierres" de Guettard (Annexe 17) avec les deux chapitres "De la pierre" et "Du caillou" de Voltaire (1768/1879, pp. 135-137), ainsi que la dernière partie du chapitre "La formation des montagnes" de Guettard (Annexe 17) avec le chapitre "Des pierres figurées" de Voltaire (1768/1879, pp. 128-129).

¹²⁴ Nombreux sont les chapitres consacrés aux fossiles parmi les chapitres I à XVIII *Des Singularités de la Nature*, douze au total : **Des pierres figurées ; De la pierre ; Du caillou ; De la roche ; Des montagnes, de leur nécessité, et des causes finales ; De la formation des montagnes ; Des coquilles et des systèmes bâtis sur des coquilles ; Amas de Coquilles ; Observation importante sur la formation des pierres et des coquillages ;** Du falun de Touraine et de ses coquilles ; Idées de Palissy sur les coquilles prétendues ; Du système de Maillet, qui, de l'inspection des coquilles, conclut que les poissons sont les premiers pères des hommes. Les intitulés des chapitres mis **en caractère gras** sont tous ceux que nous avons pu faire correspondre au manuscrit de Guettard.

Légende du schéma N°9, la problématique de l'origine et la diversité des pierres par Voltaire et Guettard



Problème de l'origine commune minérale défendue par Voltaire



Problème de l'origine organique et d'être vivant très éloigné



Problème de la mise en forme d'un fossile dans une pierre

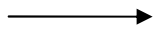
Q = **question**

R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**



QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question



RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question

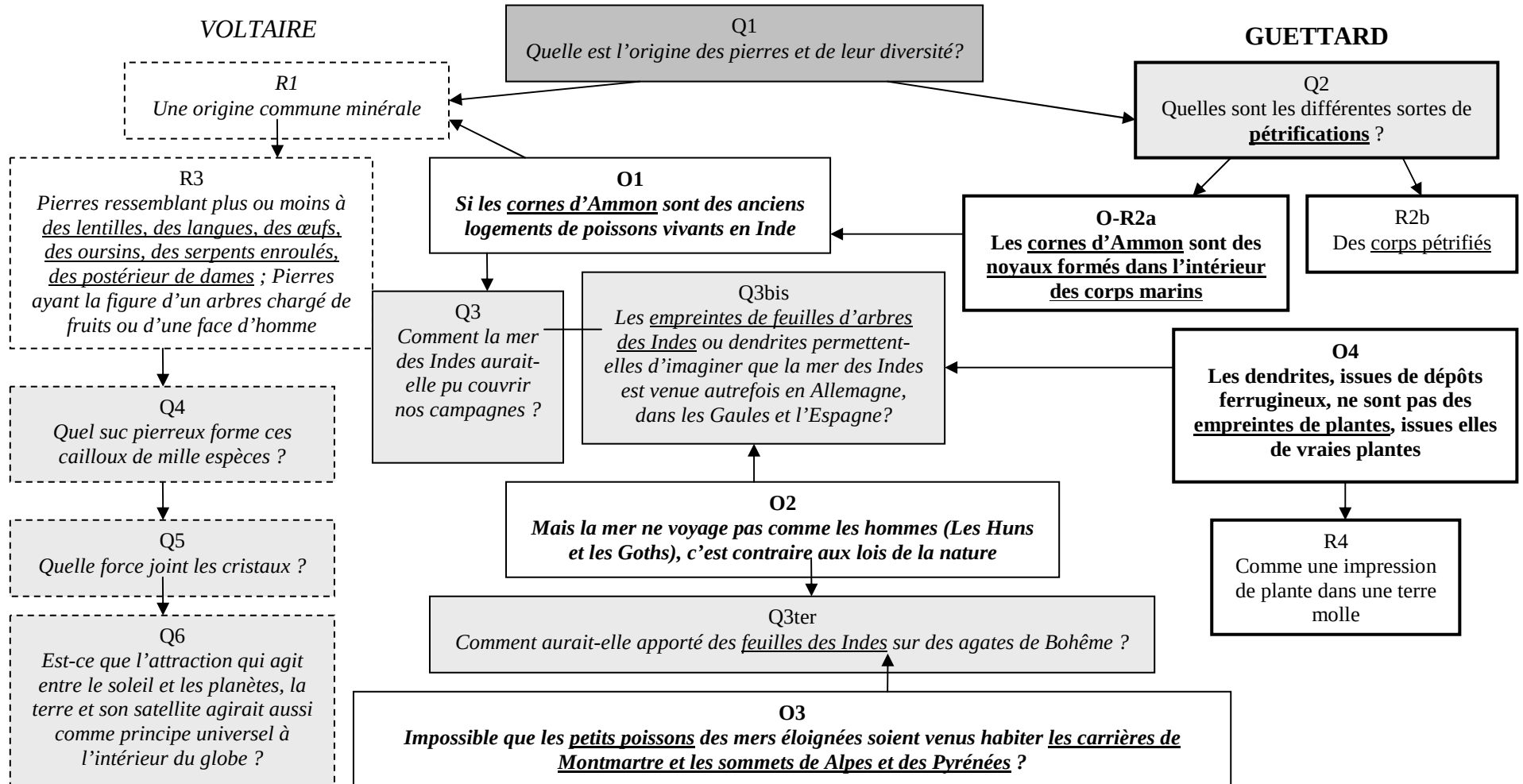


RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

les fossiles au sens moderne

Interventions de Guettard & *Interventions de Voltaire*

Schéma N°9 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE sur l'origine et la diversité des pierres :**
« Quand Guettard échange avec Voltaire sur la formation des pierres, des coquilles fossiles et des pierres figurées » (lettre manuscrite)



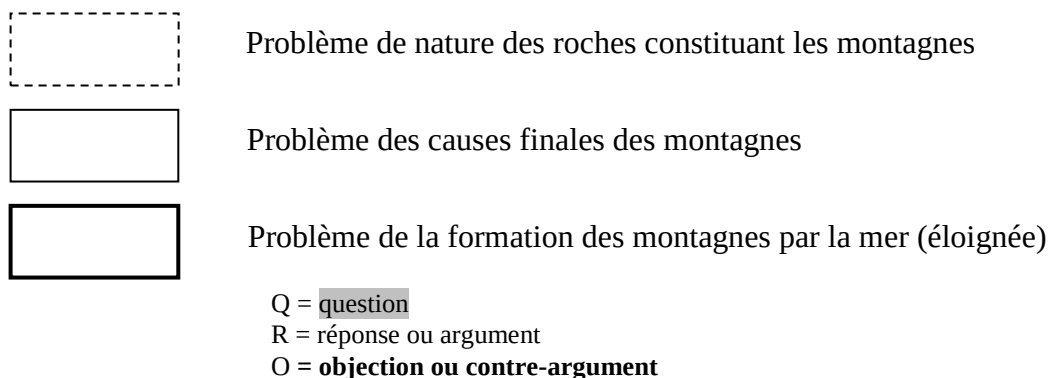
Voltaire interpelle les naturalistes, sur le problème de l'origine des pierres en général et sur celles qui ont quelque rapport avec des êtres vivants qu'il veut rendre invraisemblable (R3). Il minimise les ressemblances effectives par exemple avec les dents de poissons ou les tests d'oursins. Il invalide la ressemblance accordée aux ammonites avec des cornes, d'où leur appellation injustifiée de Corne d'Ammon. Il amalgame les productions minérales arborisées ou dendrites avec les empreintes de feuilles. Il fait part de l'imagination humaine qui devine des figures de fruits ou de face humaine. Et il se moque des savants à propos du nom qu'ils ont donné à une coquille fossile, la conque de Vénus¹²⁵ en finissant sur un jeu de mots « L'imagination galante de quelques physiciens leur a donné un beau titre, mais cette dénomination ne prouve pas que ces coquilles soient les dépouilles des dames » (Voltaire, 1768/1879, p. 136). Implicitement, il se refuse donc à croire à l'origine organique des coquilles fossiles (O1). D'autant plus que ce fait, s'il est accepté, nécessite une « rêverie » encore plus fantasque, le déplacement de la mer des Indes, ce qu'il questionne à plusieurs reprises (Q3, Q3bis, Q3ter) et se refuse d'admettre (O2, O3). Considérant alors cette diversité issue uniquement du règne minéral, il développe tout un questionnement (Q4, Q5 et Q6) qui fait appel aux nouvelles théories héliocentriques de l'univers en les transposant à l'intérieur du globe terrestre pour la cohésion de la matière. Evitant toute question métaphysique sur l'univers, évitant toute théorie sur la Terre telle que Buffon l'abordait (1749 et 1770-1790), Guettard préfère rester sur le registre empirique « Et en vérité, ou les questions sont insolubles ou elles sont de nature à ne pas exiger de réponse tout le monde pouvant aisément y répondre » (Guettard, n.d. post 1768a, f. 52 ; Annexe 17). Il transforme donc la question initiale de Voltaire (Q1), pour le corriger sur les diverses pétrifications (Q2), en lui donnant la différence entre un fossile issu d'un moulage interne par remplissage d'une loge de « poisson »—la corne d'Ammon ou ammonite qui n'a pas d'analogue vivant en France—(O-R2a) et un corps pétrifié comme la conque de Vénus (R2b). Il lui démontre qu'il confond les dendrites et les véritables fossiles de plantes (O4) par empreinte dans un substrat mou (R4). Et dans ce sens, il réfute la généralisation d'une origine minérale vers laquelle tend Voltaire pour

¹²⁵ Au XVIII^e siècle, en référence à la classification de Linné (1707-1778) le terme de conque ou Concha désigne les mollusques bivalves (Lauriat-Rage, 2002, p. 624). Les noms donnés aux fossiles s'appuyaient sur leurs analogues vivants mais cette classification des fossiles était en plein balbutiement. Et dans l'usage courant le terme de conque est un nom générique donné par les conchyliologistes à plusieurs coquilles qu'elles soient univalves –mollusques gastéropodes- ou bivalves –mollusques lamellibranches- ou même multivalves - plaques squelettiques des crustacés fixés- (Herbigny, 1775, Tome 1 p. 258). M. l'abbé Favart d'Herbigny dans son dictionnaire de conchyliologie établit une nomenclature réunissant les coquillages actuels et fossiles et il fait part des noms génériques donnés par les anciens philosophes associés à ceux confirmés par les modernes. La conque de Vénus des anciens correspond à la porcelaine, gastéropode faisant l'objet aujourd'hui d'un commerce. La conque de Vénus des modernes, conchae Veneris dont parle Voltaire, correspond à des bivalves en forme de cœur mais aussi qui sont « similitudine pudendi mulieris », c'est à dire « semblables aux parties honteuses d'une femme ». Voltaire aurait pu s'amuser des autres termes donnés pour décrire des espèces différentes, la gourgandine, la fausse gourgandine ou la vieille ridée (ibid, p. 262) ! De nombreux bivalves aujourd'hui encore portent le nom courant de Vénus et un bivalve de taille exceptionnelle porte le nom de « Cœur de bœuf », *Glossus humanus* (Dance, Peter S. et Ward, Matthew, 1993, *Les coquillages*, Paris, Bordas)

expliquer la genèse des pierres. Guettard, comme certains de ses naturalistes contemporains, était très vigilant à différencier les dendrites des empreintes fossiles. Antoine de Jussieu alertait sur la confusion possible des dendrites et des empreintes de plantes véritables, similaires à celles poussant actuellement en Inde. Ces fossiles végétaux lui permettaient d'« herboriser dans un nouveau Monde » en France (1718, p. 288). Dezallier d'Argenville différenciait bien les dendrites qu'il comparait aux figures de givre et les empreintes de poissons, insectes et plantes inimitables par leurs détails de structure organique (1742/1757, pp. 148-149). Voltaire, quant à lui, s'était fait sa propre classification : les fossiles analogues aux vivants actuels -moules, huîtres, escargots ou limaçons- et les fossiles non analogues aux vivants actuels qui ne pouvaient être par conséquent que des pierres figurées ou des jeux de la nature -dendrites, ammonites, dents de requins ou glossopètres- (Carozzi, 1983, p. 68).

Abordons maintenant, **la problématique sur la genèse des montagnes** telle qu'elle a été discutée par les deux protagonistes. Le second espace-problème (Schéma N° 10) organise une corrélation de trois problèmes soulevés : la nature des roches constituant les montagnes, les causes finales des montagnes et leur formation qui déclinent la problématique globale de l'origine des montagnes. Il met en correspondance la dernière partie du chapitre "Des pierres" de Guettard (Annexe 17) avec les deux chapitres "De la roche" et "Des montagnes, de leur nécessité, et des causes finales" de Voltaire (1768/1879, pp.137-140), ainsi que la toute première partie du chapitre "La formation des montagnes" de Guettard (Annexe 17) avec le chapitre "De la formation des montagnes" de Voltaire (1768/1879, pp. 140-144).

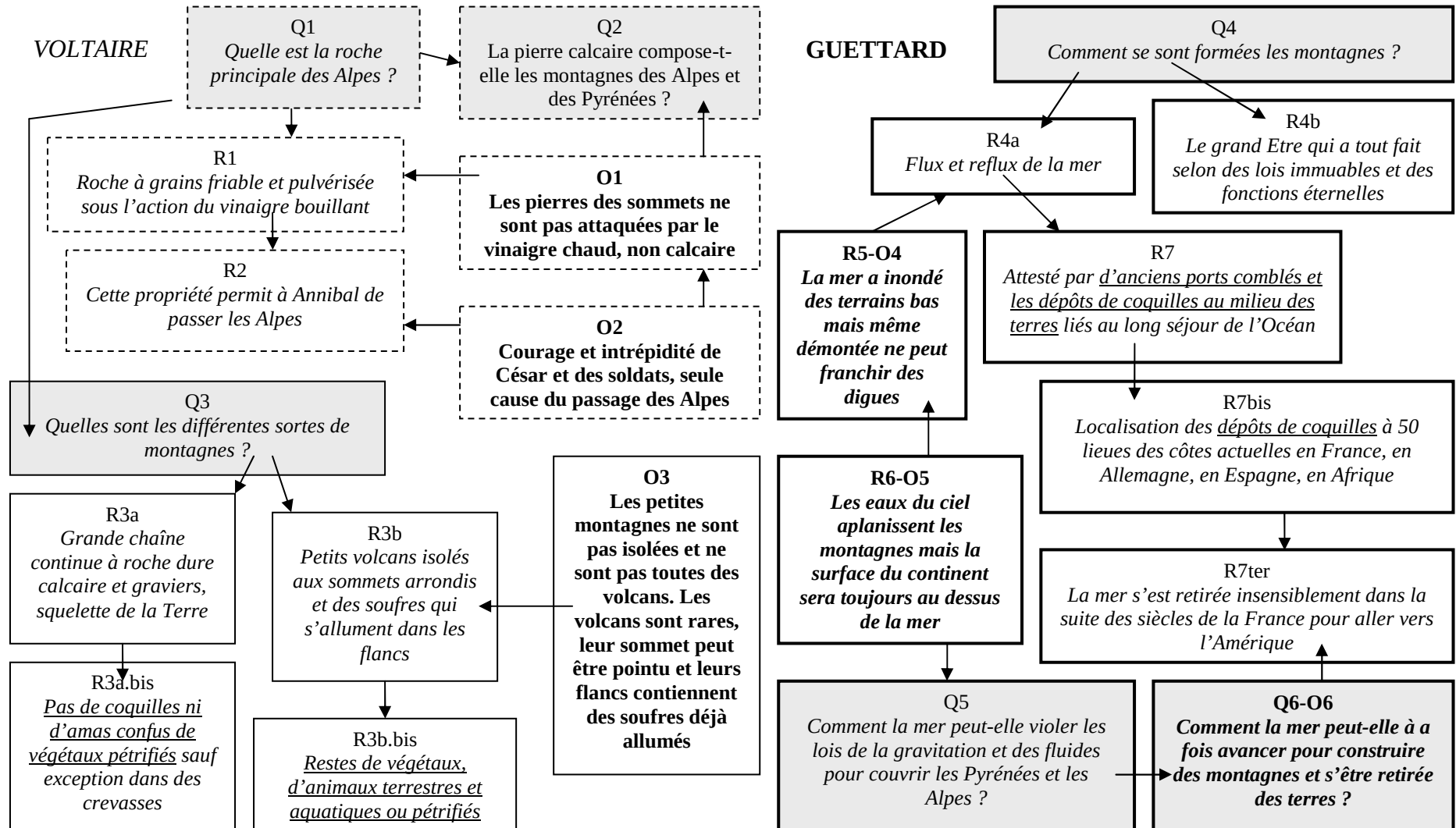
Légende du schéma N°10, la problématique de l'origine des montagnes par Voltaire et Guettard



les fossiles au sens moderne

Interventions de Guettard & *Interventions de Voltaire*

Schéma N°10 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE sur l'origine des montagnes :**
« Quand Guettard échange avec Voltaire, sur les roches, les causes finales et la formation des montagnes »



Premièrement, **sur la nature des roches constituant les montagnes**, Guettard ne prend pas au sérieux Voltaire, qui met en avant son ignorance de la chimie, et qui en plus, corréle d'une façon fantaisiste ces expériences chimiques (R1) avec une fameuse traversée des Alpes lors des conquêtes antiques des Gaules¹²⁶ (R2). Les roches du sommet ne sont pas calcaires, lui objecte-t-il (O1), et seuls, « le courage et l'intrépidité » d'Annibal comme de César, sont à l'origine de leurs traversées des cols montagneux (O2). Ensuite, Guettard répond à Voltaire, uniquement sur des détails morphologiques des volcans (O3), en évitant la comparaison proposée par Voltaire entre les petites chaînes de montagnes isolées, volcaniques (R3b), avec les grandes chaînes de montagnes continues (R3a). Il complimente Voltaire sur **sa pensée finaliste qui accorde aux montagnes de nombreuses utilités** : elles « assemblent les nuages et les neiges » ; elles « forment tous les fleuves et les fontaines » ; « elles affermissent la terre ; elles servent à l'arroser ; elles renferment à leurs bases tous les métaux, tous les minéraux » (Voltaire, 1768/1879, p.138). Par contre il ne donne **aucune objection concernant la distinction de Voltaire sur la localisation des sites fossilifères**. Il est pourtant surprenant de remarquer que, Voltaire associait les fossiles aux petits reliefs, les volcans selon lui (R3bbis), et déclarait leur présence exceptionnelle sur les reliefs plus élevés (R3abis). Sans doute, la prudence de Guettard et ses excursions privilégiées dans les bassins français et germaniques et dans le Massif Central ne lui permettait pas d'aller plus avant dans la discussion, sur les hautes chaînes de montagnes et la présence des fossiles. C'est peut-être, une des raisons qui pousse **Guettard à passer outre, les explications théoriques sur la genèse des montagnes**. Sans doute, se refuse-t-il de dériver vers les hypothèses contradictoires (R4, R5, R6) et le questionnement répété (Q5, Q6) de Voltaire. Il ne veut pas s'engager sur les objections de Voltaire, toutes liées aux observations actuelles historiques telles les tempêtes et les inondations (R5-O4), les reliefs érodés (R6-O5) et le comblement des ports de Carthage ou d'Aigues-Mortes (R7). Outre le désaccord avec les lois de la physique avancé par Voltaire (Q5), Guettard ne répond pas non plus au paradoxe (Q6-O6), rebutant son adversaire, à savoir qu'un même agent peut provoquer deux effets différents : la mer peut-elle à la fois produire les montagnes en s'avancant sur les continents et se retirer des plaines en laissant les dépôts coquilliers ? Si les naturalistes croient avoir la preuve d'un long séjour d'anciennes mers (R7bis et R7ter), ils n'ont pas pour autant la preuve que ce même agent puisse former les sommets des hautes chaînes. La détermination d'une preuve négative, l'absence des fossiles dans les hautes chaînes de montagnes, le satisfait mieux que d'admettre qu'une même cause, le déplacement des mers, puisse avoir deux effets distincts, la formation des reliefs et le dépôt de coquilles dans les plaines. En conséquence l'hypothèse des dépôts

¹²⁶ Annibal (-247 à -183 av. JC.), général et homme politique carthaginois réputé comme étant un des plus grands tacticiens militaires de l'histoire, nommé « père de la stratégie » qui aurait inspiré Napoléon 1^{er}. Il partit à la conquête de Rome en passant par les Pyrénées puis les Alpes. Cette traversée des Alpes par Annibal et ses éléphants est réputée pour avoir été un des choix tactiques les plus remarquables, grandi encore par leur stratégie qui a réussi à vaincre de nombreux obstacles - climat rude, terrain escarpé, ethnies cosmopolites de ses soldats-.

coquilliers, uniformément à la surface de la Terre, est fort douteuse car « le flux peut amonceler un peu de sable mais le reflux l'emporte » (Voltaire, 1768/1879, p. 140). Il lui est impossible de concevoir la formation des reliefs dans le temps même « lentement, dans des siècles innombrables » et dans l'espace, « l'Océan, une fois formé, une fois placé, ne peut pas plus quitter la moitié du globe pour se jeter sur l'autre qu'une pierre ne peut quitter la terre pour aller dans la lune » (ibid.).

Au **questionnement ouvert et très divergent de Voltaire, s'opposent donc quelques réponses fermées de Guettard**. Voltaire, en tant que philosophe s'intéressant à la nature, peut effectivement être qualifié d'être « le plus grand douteur du XVIII^e siècle » (Fallot, 1911, p. 224). Et il questionne, systématiquement et inlassablement, les Physiciens dans tous les autres chapitres des *Singularités* qui suivent.

Tableau N°8 : Typologie des questions explicitées par Voltaire, lors de la controverse sur l'origine des coquilles fossiles

Questions explicites de Voltaire (formulations)	Catégorisations du questionnement	Appartenance du questionnement à un problème scientifique
Est-ce d'ailleurs une idée tout à fait romanesque de faire réflexion sur la foule innombrable de pèlerins qui partaient à pied de Saint-Jacques en Galice, et de toutes les provinces, pour aller à Rome par le Mont Cenis chargés de coquilles à leurs bonnets ? (chap. XII, pp. 145-146)	Question fermée contenant une réponse	Transport des coquilles par l'homme
S'il y en avait (de véritables coquilles marines) pourquoi n'aurait-on jamais vu d'os de chiens marins, de requins, de baleines (chap. XIII, p. 147)	Question ouverte de raisonnement	Diversité d'animaux marins / uniformité des fossiles coquilliers
Pourquoi donc imaginer que des coquillages des Indes sont venus s'amonceler dans nos climats quand nous en avons chez nous par millions (coquilles terrestres et dulcicoles) ? (chap. XIII, p. 147)	Question fermée contenant une réponse	Déplacement de la mer des Indes
Mais est-on bien sûr que le sol de la terre ne peut enfanter ces fossiles ? (chap. XIII, p. 148)	Question fermée contenant une réponse	Génération spontanée des fossiles
On considère que le fleuve de Gambie et la rivière de Bissao sont remplies d'huîtres, que plusieurs lacs en ont fourni autrefois, et en ont encore, ne sera-t-on pas porté à suspendre son jugement ? (chap. XIV, p. 149)	Question ouverte de méthodologie	Formation lacustre et dulcicole
Mais pourquoi cet Océan n'a-t-il formé aucune montagne sur tant de côtes plates livrées à ses marées ? Et pourquoi, s'il a déposé des amas prodigieux de coquilles en Touraine, n'a-t-il pas laissé les mêmes monuments dans les autres provinces à la même distance ? (chap. XVI, p. 151)	Question ouverte de raisonnement	Formation marine côtière parcellaire et sans relief
Mais aussi comment une production enfouie quinze pieds en terre pendant tant de siècles peut-elle avoir l'air si nouveau ? Comment y a-t-on trouvé la coquille d'un limaçon toute fraîche ? (chap. XVI, p. 153)	Question ouverte de raisonnement	Temps long et conservation des coquilles
De ce que la mer serait venue à quarante lieues, s'ensuivrait-il quelle aurait été partout ? (chap. XVI, p. 154)	Question fermée	Uniformité des formations rocheuses
A-t-on besoin de toutes ces suppositions pour prouver les révolutions que notre globe a essuyées dans des temps prodigieusement reculés ? (chap. XVII, p. 155)	Question fermée de méthodologie	Temps extrêmement long et place de l'imagination / science

Guettard confirme simplement, les deux principaux systèmes à considérer, le volcanisme et les dépôts marins parmi « le nombre des systèmes qu'on a imaginés pour expliquer la formation des montagnes » (Annexe 17). Seul, l'intéressera la discussion sur les erreurs de faits, liées aux dépôts de coquilles mais, sans pour autant s'engager sur les considérations théoriques des lois physiques de flux et de reflux marins. C'est ce que nous verrons plus

précisément dans le prochain paragraphe. Ces questions martelées par Voltaire balaient un nombre important de problèmes, tout d'abord géologique –origine des coquilles, déplacement des mers, fossilisation préférentielle de certaines parties des corps vivants, classification des coquillages marins et terrestres, remise en cause d'une loi uniforme des dépôts coquilliers-, puis, pour finir sur des problèmes philosophiques –temps infiniment long, place de l'imaginaire dans les modèles scientifiques. Guettard est loin de vouloir répondre à toutes ces questions. Il n'est pas prêt à les aborder car elles dérivent sur un registre explicatif dont il sent que la communauté scientifique n'a pas suffisamment de données fiables. De plus, le questionnement de Voltaire contribue à déstabiliser même une certitude des naturalistes, l'origine marine des coquilles, qu'ils ont mis tant de siècles à acquérir ! Guettard en a pleinement conscience, lui si méticuleux, connaissait les écrits de ces prédécesseurs auxquels il fait scrupuleusement référence dans ces nombreux mémoires.

Aussi nous pouvons comprendre **les réticences de Guettard vis-à-vis de la pléthore de systèmes proposés pour expliquer la formation du globe**. Les systèmes de Whiston, Burnet et Woodward sont pris en référence dans les *Preuves de la théorie de la Terre* de l'*Histoire Naturelle* de Buffon. Voltaire s'appuyait explicitement (Voltaire, 1768/1879, p. 142) sur Buffon, qui lui-même se positionnait explicitement sous l'« autorité de Woodward »¹²⁷ (Roger, 1962, p. XIX). Ce dernier avait développé l'idée de dissolution du premier Monde et de seconde formation en observant les coquilles fossiles intégrées dans certaines couches terrestres et remplies de la même matière (Gohau, 1990b, pp. 178-181). Il supposait donc, un remaniement complet du premier Monde par un évènement extraordinaire, le Déluge universel, puis une nouvelle formation des couches selon leur densité. Ainsi, s'expliquait la contemporanéité des coquilles fossiles remplies de leur roche encaissante ; mais ce modèle supposait une cause unique et globale et une répartition uniforme des strates fossilifères. Buffon n'adhérait pas à l'idée d'une cause exceptionnelle, il préférait raisonner sur les causes permanentes, lentes et observables encore aujourd'hui. Il manifeste ainsi, un bel exemple d'actualisme (Roger, 1962, pp. LXXXIV-LXXXVII). Cependant, Buffon garda l'idée d'un globe stratifié, couvert par un immense océan, une « mer universelle » dans sa troisième époque de l'histoire de la Terre. Les Physiciens de la fin du XVII^e siècle (Burnet, 1684 ; Woodward, 1695/1725) et du milieu du XVIII^e siècle (Bourguet, 1729 ; Buffon, 1749 et 1778 ; Maillet, 1755 ; Holbach, 1765 ; Hutton, 1788/1795) imaginent chacun leur théorie de la

¹²⁷ Woodward, géologue britannique et grand collectionneur de fossiles, avait imaginé une théorie basée sur le Déluge Universel, le récit biblique étant le fil directeur des théories cosmogoniques en Angleterre. Son livre paru en 1695 *An Essay toward a Natural History of the Earth and Terrestrial Bodies* –édition française parue en 1735- démontre la formation en strates du globe terrestre et l'origine marine des coquilles fossiles. Sa théorie sur la formation des roches est basée sur une mise en histoire en trois temps, des roches primitives antédiluviennes, une catastrophe universelle, le Déluge dont les eaux proviennent des « entrailles de la Terre » et une formation secondaire postdiluvienne des roches.

Terre¹²⁸ pour expliquer la formation du globe, en s'inspirant plus ou moins du modèle cosmogonique initial de Descartes (1647/1999). Chacun tente de faire correspondre au mieux les écrits bibliques avec certains éléments empiriques géologiques qui leur paraissent essentiels ou s'en distancient avec prudence (Ellenberger, 1988 et 1994 ; Gohau, 1990b ; Gould, 1990). Ils manifestent ainsi de grands écarts de pensée théorique, la dissolution du premier monde et le déluge ou le refroidissement du globe et les isthmes intercontinentaux.

Nous pouvons aussi, comprendre en définitive, que **Voltaire ne soit pas satisfait de ces réponses ponctuelles** et des questions détournées par Guettard qui le corrige comme un enfant pour terminer sur une sentence « M. de Voltaire est comme un enfant qui ne *sait* rien, il ne cesse de faire des pourquoi. [...] Enfin M. de Voltaire, commet presque autant de fautes, qu'il fait de phrases » (Guettard, n.d. post 1768a, f. 51-52 et 56 ; Annexe 17). Alors que Voltaire désirait philosopher sur le système de la Terre fondé sur les coquilles fossiles, raisonnement théorique dans lequel ne veut absolument pas s'engager le naturaliste. La posture de Guettard vis-à-vis de Voltaire n'est pas sans rappeler le savant professeur devant les conceptions et les pourquoi enfantins d'un élève. Il renonce aux explications et s'attache à la description des faits. Alors que Voltaire voulait engager le naturaliste, quel qu'il soit, sur la critique du système de Buffon auquel il se réfère, pour mieux revenir vers les desseins du Créateur. Guettard, quant à lui, fervent pratiquant, reste définitivement pragmatique et positiviste et se refuse à tout système général.

Buffon était irrité par ces deux postures qui représentaient, selon lui, deux formes de déficience intellectuelle, le recours constant à la Divinité ou la peur malade du « système » c'est-à-dire « *une combinaison raisonnée, une ordonnance des choses ou des idées qui les représente [...] par le travail de l'esprit qui rapproche les faits et en tire des lois [...] car la science ne consiste pas à décrire les faits et s'en remettre à Dieu pour les causes* » (Roger, 1962, pp. LXXXIV-LXXXV). Les causes finales ou divines étaient critiquées par Buffon comme étant des « hypothèses gratuites » ou de « vaines spéculations » alors qu'il défendait les causes « secondes » ou « efficaces physiques » ordonnées rationnellement. Remarquons que la même appellation de « romans » est employée par Voltaire et par Buffon mais pour des postures antagonistes : le premier pour les coquilles fossiles vues comme des monuments des séjours successifs de la mer, le second pour des coquilles fossiles vues comme des jeux de hasard ou des reliques d'un Déluge universel. Si Voltaire accepte certains changements à la surface du globe sur « une longue suite de siècles » tel le déplacement des eaux sur des

¹²⁸ Burnet : la chute de l'Ancien monde, le déluge a formé les vallées des montagnes –angles rentrants de l'occident complémentaires des angles sortants de l'orient

Woodward : la dissolution du premier Monde et la formation du second Monde par densité différentielle

Bourguet : la seconde formation des couches riches en coquilles fossiles

Buffon : flux et reflux de la mer /refroidissement de la Terre et retrait d'une mer universelle

Maillet : abaissement du niveau de la mer

Holbach : une terre primitive cristallisée et une terre nouvelle de couches fossilifères

Hutton : cycles de soulèvements tectoniques, de fusion, d'érosion et de stratification

« terrains bas et plats », sa conception fixiste semble inébranlable pour la formation des montagnes « Je n'ai pas voulu me brouiller avec lui (Buffon) pour des coquilles ; mais je suis demeuré dans mon opinion, parce que l'impossibilité que la mer ait formé les montagnes m'est démontrée » (Voltaire, 1767, cité par Carozzi, 1979, p. 88). Est-il convaincu pour autant, à l'idée du transport par les pèlerins ? Il la maintient obstinément, il la retravaille ultérieurement, pour la rendre plus probable. Or il admettait l'avoir proposée peu sérieusement à la communauté scientifique italienne « Quand je lus, il y a quarante ans, qu'on avait trouvé dans les Alpes des coquilles de Syrie, je dis, je l'avoue, d'un ton un peu goguenard, que ces coquilles avaient été apparemment apportées par des pèlerins qui revenaient de Jérusalem » (Carozzi, 1983, p. 61, citant Voltaire, 1767, *La défense de Mon oncle*).

Les registres mobilisés dans la controverse des coquilles fossiles : l'argumentation de Voltaire suivie de la contre argumentation de Guettard

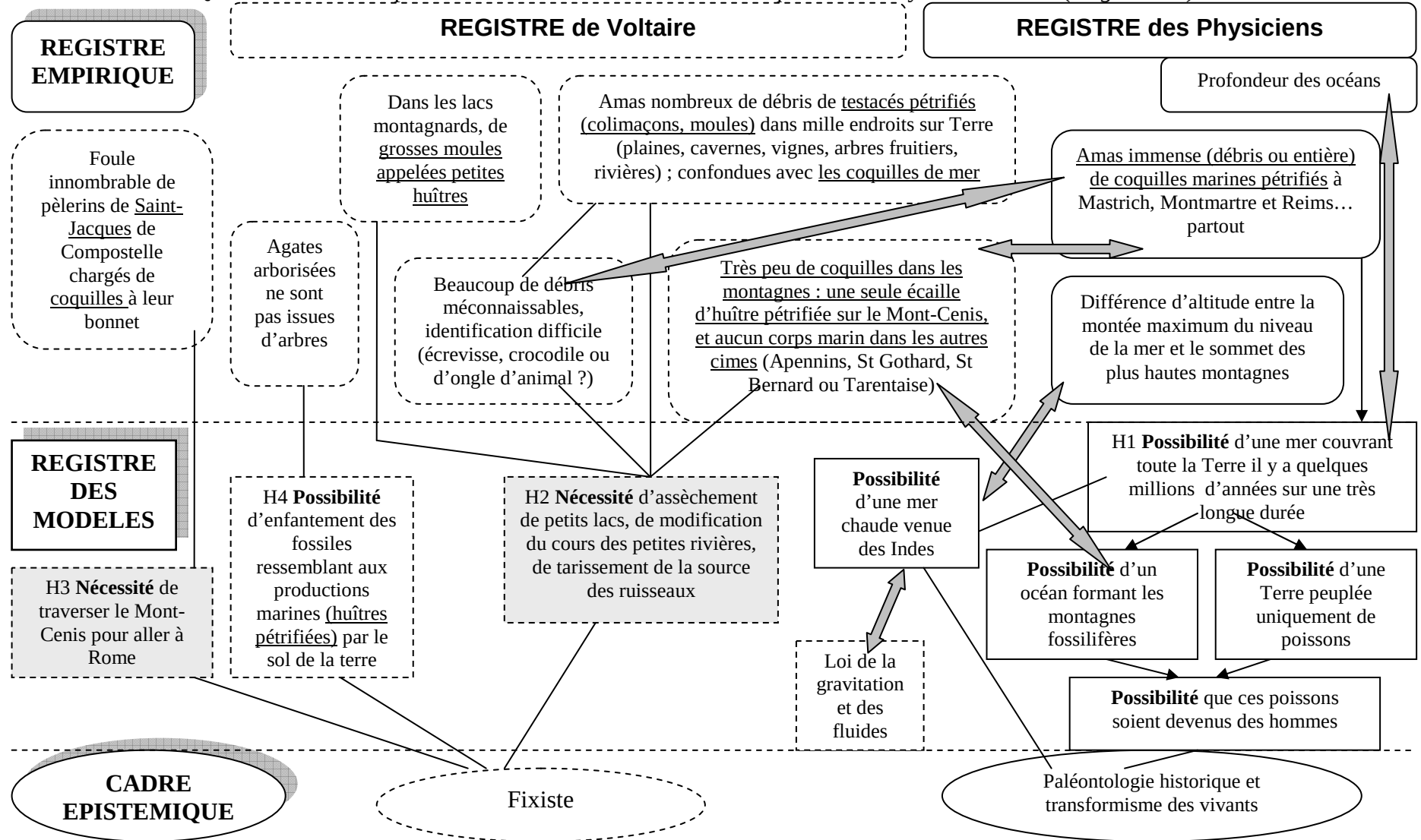
Le nœud de la controverse semble être à propos de la présence des coquilles fossiles et l'argumentation des deux protagonistes est plus développée en ce qui les concerne. C'est pourquoi la construction d'espaces de contraintes et de possibles est préférable pour **mettre en corrélation voire en opposition les arguments de Voltaire et de Guettard**. Nous allons, successivement, analyser par cet outil méthodologique le discours de Voltaire dans les deux chapitres suivants "Des coquilles et des systèmes bâtis sur des coquilles" et "Amas de Coquilles" (1768/1879, pp. 144-148) puis la réponse de Guettard donnée dans la seconde partie de son chapitre "La formation des montagnes" (Annexe 17).

Dans son discours centré sur les coquilles, Voltaire remet en question les nouvelles théories de la Terre en les assimilant dans son introduction à la légende des anguilles ou à la légende de l'Atlantide (Voltaire, 1768/1879, pp. 144-145). Sans doute pour les anguilles, fait-il référence à la thèse antique de Sénèque sur les immenses réserves d'eaux souterraines, thèse perpétuée encore jusqu'au XVII^e siècle puisque Du Hamel y fait encore référence (1660, livre 2, Chap. 6, pp. 196-197 ; Annexe 12). Sa discussion principale porte donc sur **l'ubiquité relative des fossiles à la surface du globe et leur appartenance au milieu marin** marquée par de nombreuses mises en tension (schéma N°11 ci-dessous, Annexe 21). Il réitère son désaccord sur la localisation des fossiles dans les hautes montagnes. Contrairement à 1746-1748, époque où il n'avait jamais vu de fossile lui-même et ne s'inspirait que de ses lectures (Carozzi, 1983, p. 35), Voltaire s'appuyait sur des prospections personnelles sur le terrain des Alpes suisses et françaises. Il minimise les amas de coquilles des montagnes à une seule écaille d'huître pétrifiée. Il alerte sur la mauvaise qualité des fragments pétrifiés qui empêche toute certitude d'indentification entre un animal marin ou d'eau douce ou terrestre en ajoutant même le langage vernaculaire, confondant les moules d'eau douce et les huîtres marines. Toute cette argumentation empirique concourt à remettre en cause l'origine marine des

coquilles fossiles, systématisée par les naturalistes. Son objectif est de réfuter le modèle explicatif des déplacements des mers qu'il se refuse absolument d'admettre « une huître près du Mont Cenis ne prouve pas que l'océan Indien ait enveloppé toutes les terres de notre hémisphère » (Voltaire, 1768/1879, p. 146).

Schéma N°11 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES** sur **les coquilles fossiles** et la formation de la Terre :

« Quand Voltaire interpelle les Naturalistes sur les amas de coquilles et les systèmes bâtis » (*Singularités*)



Ce modèle est contraire, d'une part, aux contraintes empiriques des abysses océaniques et des marées maximales et aussi, contraire à la contrainte théorique de la gravité des fluides qui rend inconcevable la submersion des très hautes montagnes. Surtout, il ne correspond pas à son cadre épistémique fixiste très résistant. Nous retrouvons ce qu'il avait énoncé dans les chapitres précédents *Des Singularités*, Voltaire conçoit des montagnes stables et immuables car ce sont les « squelettes » de la Terre créés à l'origine du Monde par Dieu (Voltaire, 1768/1879, pp. 138 et 141). La suite alors du développement des naturalistes n'est qu'une romance, une histoire (Schéma N°11, H1) en trois actes fantaisistes en référence aux journées du système de Telliamed (Maillet, 1755/1984), l'abaissement des mers concomitant à l'émersion des montagnes et en parallèle la transformation des ancêtres aquatiques en espèces terrestres. Voltaire caricature ce modèle explicatif géologique et la métamorphose des êtres humains qu'il serait absurde de fonder uniquement sur des coquilles fossiles « Peu à peu les nageoires sont devenus des bras ; la queue fourchue, s'étant allongée, a formé des cuisses et des jambes ; enfin les poissons sont devenus des hommes, et tout cela s'est fait en conséquence des coquilles qu'on a déterrées » (Voltaire, 1768/1879, p. 145). Et en conséquence de ces impossibilités théoriques et de ses observations principalement dans la région de Ferney, il arrive à soutenir **l'hypothèse la plus probable pour lui, la nécessité d'anciens lacs asséchés**. Notre outil méthodologique met en valeur « his newly cherished ideas on freshwater fossils » que M. Carozzi avait décelé dès 1748 et qu'il répéta ensuite, sous diverses formes dans de nombreux ouvrages suivants comme celui de 1765 dans *La Philosophie de l'histoire* de Voltaire qui s'inspirait de Leibniz (1693)

« Je n'oserais pourtant assurer que la mer ait formé ou même côtoyé toutes les montagnes de la terre. Les coquilles trouvées près de ces montagnes peuvent avoir été le logement de petits testacés qui habitaient des lacs ; & ces lacs ont disparu par des tremblements de terre, se seront jetés dans d'autres lacs inférieurs » (Carozzi, 1983, p. 61-63).

Nous pouvons remarquer, qu'ultérieurement, dans notre extrait de 1768 Voltaire fait malencontreusement, référence à Palissy. En effet, il le soupçonne de « charlatanerie » à propos de « ces prétendues coquilles », ce qui aurait discrédité le naturaliste du XVI^e siècle, il doute de ces « amas » de coquilles formant les rochers (Voltaire, 1768/1879, p. 154). Or, s'il avait lu attentivement, les ouvrages du « maître potier », il ne serait pas tombé dans la même interprétation erronée de lecture d'une origine marine généralisée des coquilles fossiles perpétuée encore par Fontenelle. Il s'avère que Voltaire a lu Fontenelle, sa reconstruction historique des progrès des sciences et non ses sources, les mémoires des académiciens. Or les résumés de ce secrétaire dans les Histoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris ont transformé les propos de Palissy, de Réaumur, de Jussieu comme de Leibnitz. C'est lui qui aurait engendré la théorie de l'Océan Indien que combattait Voltaire (Carozzi, 1983, pp. 26-29 et 40). Aurait-il lu Palissy et s'en serait-il inspiré tout de même ? Car d'une part, nous pouvons corréler une des idées de Palissy sur les coquilles pétrifiées avec celle des coquilles des pèlerins ou des poissons jetés des restes de repas des Romains, émise par Voltaire au

XVIII^e siècle, comme nous l'avons étudiée dans un chapitre précédent « Certaines ont été jetées en la terre, après avoir mangé le poisson » (Palissy, 1580/2004, p. 192). Et d'autre part, nous retrouvons les deux idées fortes de Palissy chez l'écrivain et philosophe des Lumières, formation anti-diluvienne et lacustre. En effet, Palissy réfute, lui aussi, l'origine marine diluvienne des coquilles à l'intérieur des terres

« Et pour mieux faire entendre que la mer n'a point amené lesdites coquilles au temps du Déluge, je te montrerai presentement la figure d'un rocher qui est esdites Ardennes, pres de la ville de Sedan, auquel rocher & plusieurs autres, il se trouve des coquilles de toutes les especes figurées en ce papier : depuis le sommet de la montaigne jusqu'au pied d'icelle » (Palissy, 1580/2004, p. 195).

Au contraire, Voltaire aurait trouvé un appui à son raisonnement d'une origine dulcicole

« ... dedens les rochers susdits se trouvent plusieurs fosses, concavitez, & receptacles d'eau, qui entre par les fentes desdits rochers, descendant du haut en bas [...] Il faut donc conclure que au paravant que cesdites coquilles fussent pétrifiées, les poissons qui les ont formées estoient vivans dedens l'eau qui reposoit dans les receptacles desdites montaignes, & que depuis l'eau & les poissons se sont petrifiez en un mesme temps : & de ce ne faut douter » (Palissy, 1580/2004, p. 196).

Et Palissy, comme lui, défendait donc la présence d'anciens « grands réceptacles d'eau » en s'appuyant, lui aussi, sur le nombre impressionnant de coquilles terrestres en manifestant déjà sur l'impact de l'homme à propos de la disparition de certaines espèces

« Si tu avois bien considéré le grand nombre de coquilles petrifiées, qui se trouvent en la terre, tu connoistrois que la terre ne produit gueres moins de poissons portans coquilles, que la mer : comprenant en icelle les rivières, fontaines & ruisseaux. L'on voit aux estangs & ruisseaux plusieurs especes de moules & autres poissons portans coquilles, que quand lesdites coquilles sont gettées en terre, si en icelle il y a quelque semence salsitive elle se viendront à petrifier » (Palissy, 1580/2004, p. 189-190).

Cette analyse rejoint la **réhabilitation qu'avait voulu apporter M. Carozzi à l'hypothèse dominante de Voltaire**. Les études géologiques modernes ont confirmé en partie l'interprétation de Voltaire. Les coquilles fossiles formant l'ensemble des collines autour du lac de Genève et donc correspondant à celles observées par Voltaire dans les environs de Ferney, appartiennent à une molasse oligocène (environ 38 millions d'années). Son origine dulçaquicole est attestée par un fossile, *Helix ramondi*. Par contre, les terrains du plateau suisse avec les villes de Lausanne et de Bellegarde sont constitués d'une molasse miocène d'origine marine attestée par des fossiles de grandes huîtres, de pectens et des dents de requins (Carozzi, 1983, p.76). La cause unique marine, évoquée par les naturalistes du XVIII^e siècle est loin d'être le seul processus expliquant la formation des montagnes. Plusieurs événements sédimentaires et tectoniques entrent dans une histoire géologique toujours complexe.

La présence des fossiles dans les montagnes fut d'ailleurs, **une des pierres d'achoppement de la théorie de la Terre de Buffon** –comme sa cosmogonie et sa génération spontanée des êtres vivants par préexistence de germes. Voltaire qui se référait au *Second discours de l'histoire naturelle* (Buffon, 1749) contestait cette assertion du savant « il paroît certain que la terre actuellement sèche et habitée a été autrefois sous les eaux de la mer, et que ces eaux étoient supérieures au sommet des plus hautes montagnes, puisqu'on trouve sur ces

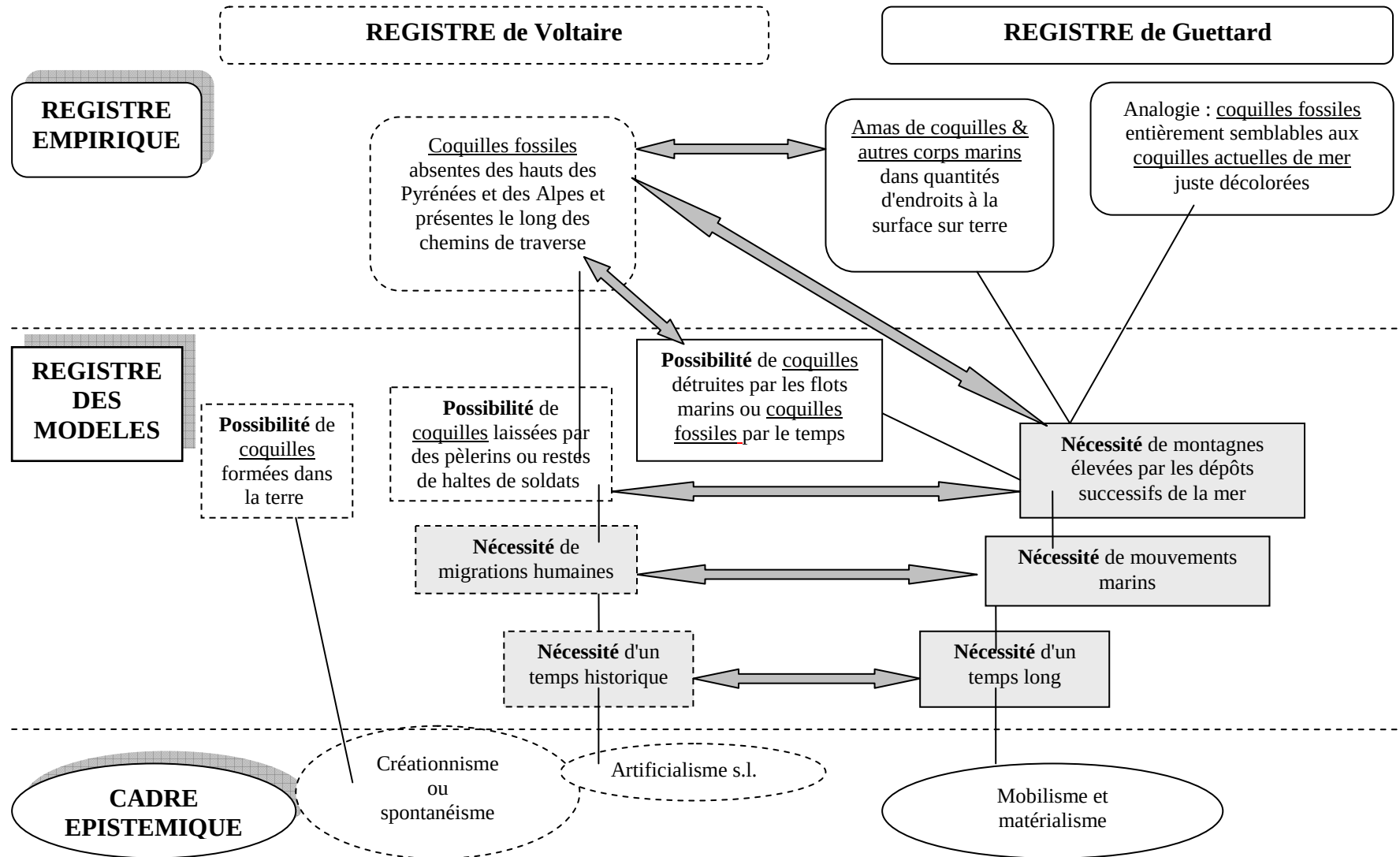
montagnes et jusque sur leurs sommets des productions marines et des coquilles » (ibid., p. 77). Or Buffon doutera, tout de même, de la présence des coquilles fossiles jusqu'aux sommets des montagnes et sur toute la surface de la Terre dès les témoignages de Bouguer, de La Condamine de retour des cordillères du Pérou en 1744 et d'une correspondance à Cayenne en 1747 (Roger, 1962, pp. XIX-XX). Mais il n'en tient pas compte car cette donnée bouleversait son modèle théorique échafaudé ; les explorateurs avaient mal observé¹²⁹. Et il ajuste, en 1778, dans les *Additions et corrections aux articles qui contiennent les preuves de la théorie de la Terre* en se prévenant de généralisations, d'un côté comme de l'autre

« J'étois alors persuadé, par l'autorité de Woodward et de quelques autres naturalistes, que l'on avoit trouvé des coquilles au dessus des sommets de toutes les montagnes ; au lieu que, par des observations plus récentes il paroît qu'il n'y a pas de coquilles sur les plus haut sommets [...] On a prétendu trop généralement qu'il n'y avoit point de coquilles ni d'autres productions de la mer sur les plus hautes montagnes. Il est vrai qu'il y a plusieurs sommets et un grand nombre de pics qui ne sont composés que de granites et de rochers vitrescibles dans lesquels on n'aperçoit aucun mélange, aucune empreinte de coquille ni d'aucun autre débris de productions marines ; mais il ya un bien plus grand nombre de montagnes, et même quelques-unes fort élevées, où l'on trouve de ces débris marins » (Buffon, 1778/1839, p. 151).

Voyons maintenant, **comment Guettard prend en charge l'argumentation de Voltaire**. Aux deux chapitres des *Singularités* de Voltaire que nous venons d'étudier, correspond donc la partie principale du chapitre sur *la formation des montagnes* du manuscrit de J-É Guettard (n.d. post. 1768a, f. 52-55 ; Annexe 17, non daté). A partir de cette source originale transcrite, un espace de contraintes et de possibles est proposé ci-dessous (Schéma N°12), organisé d'une façon identique à l'espace de contraintes et de possibles précédent, relatant le discours de Voltaire (Schéma N°11). Le problème de l'origine des coquilles fossiles est décliné par trois réponses discutées par Guettard, appartenant à trois registres explicatifs différents : une origine organique d'anciens vivants marins défendue par Guettard, une origine artificielle ou une origine minérale défendues par Voltaire. Guettard rappelle en premier, l'hypothèse artificialiste sous ses deux versions : les pèlerins liés aux coquilles pétrifiées et que Voltaire maintiendra, les soldats assimilés aux voyageurs liés aux poissons pétrifiés dans ses premiers écrits (Voltaire, 1746/1830, p. 566). Il la met en avant pour mieux la ridiculiser en se moquant des vains efforts de Voltaire pour comprendre le monde naturel « Il (Voltaire) l'étudie autant qu'il peut mais il est comme ces soldats qui décochent en fuyant leurs flèches qui ne font aucun mal étant mal limées » (Guettard, n.d. post. 1768a, f. 52).

¹²⁹ Art. VIII : Sur les coquilles & les autres productions de la mer, qu'on trouve dans l'intérieur de la terre (1749 ; 1778/ 1839, 134-148) &. *Additions et corrections* (1778/1839, pp. 148-153).

Schéma N°12 : ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES sur les coquilles fossiles et la formation de la Terre :
« Quand Guettard répond à Voltaire sur les coquilles fossiles » (lettre manuscrite)



Il finit son argumentation en la rappelant à nouveau et en relativisant la « vérité » de Voltaire à une « opinion » méprisable. L'hypothèse de formation in situ dans la terre n'est pas discutée. Par contre, concernant les flux et reflux marins Guettard repère l'argument principal de Voltaire pour réfuter l'hypothèse de formation marine des montagnes, l'absence de coquilles fossiles dans leurs sommets. Un même argument - le nombre d'endroits où elles ont été observées - est une contrainte du registre empirique qui sert à la fois à Guettard et à Voltaire pour construire leurs argumentations. L'organigramme ci-dessus (Schéma N°12) révèle les nombreuses mises en tensions par désaccord des deux interlocuteurs à partir de cet argument empirique pris en compte différemment. L'absence de coquilles marines dans les Alpes ou les Pyrénées était une preuve suffisante, selon Voltaire, pour réfuter la théorie marine de formation de la Terre. L'absence de coquilles marines dans ces montagnes, si elle était vérifiée, ne serait pas une preuve négative scientifique suffisante, selon Guettard, pour révoquer la possibilité d'une genèse marine des montagnes. Car l'argument principal de Guettard est l'analogie indiscutable entre les coquilles fossiles trouvées dans maints endroits et les coquillages actuels marins. Il ignore complètement le développement principal de Voltaire sur une origine lacustre des coquilles déterrées dans les montagnes. Et pourtant, il est conscient par ailleurs, de la difficulté des classifications des êtres vivants et fossiles et de leurs analogies délicates. Guettard avait bien conscience des lacunes dans la connaissance scientifique de son époque pour comprendre les fossiles et assurer leur interprétation ainsi, annonce-t-il en 1768, dans sa préface des cinq volumes de ses *Mémoires sur différentes parties des Sciences & Arts* « l'anatomie comparée n'est pas encore avancée, sur-tout pour ce qui regarde les squelettes » (Guettard, 1768, Tome 1, p. V). Et il rajoute encore par la suite, à propos des coraux fossiles et actuels

« Il est donc très-difficile de constater quelles peuvent être les especes de corps marins que l'on pêche journellement, & dont les Cabinets d'Histoire naturelle s'enrichissent tous les jours, qui peuvent être regardées comme étant celles que nous rencontrons dans la terre, & qui y sont dans un état de pétrification. On ne peut donc que louer le zele des Naturalistes, & l'empressement qu'ils ont à se procurer des uns & des autres. Ce moyen est le seul qui puisse accélérer les connoissances, sans lequel on ne pourra jamais parvenir à déterminer de quelles mers ont pu être les fossiles que nous trouvons maintenant dans les terres » (Guettard, 1770, Tome 2, pp. 171-172).

Pour Guettard le milieu aquatique est synonyme de milieu marin.

Enfin, **les impossibilités de Voltaire sont devenues les nécessités des naturalistes dont Guettard.** Nous pouvons le démontrer par l'intermédiaire de l'outil de schématisation de Toulmin avec ses cinq phases du raisonnement, les données ou valeurs particulières (D), les garanties ou valeurs générales (G), les déductions (CL), les fondements (F) et les restrictions (R).

Schéma N° 13 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE,**
Voltaire et les coquilles fossiles

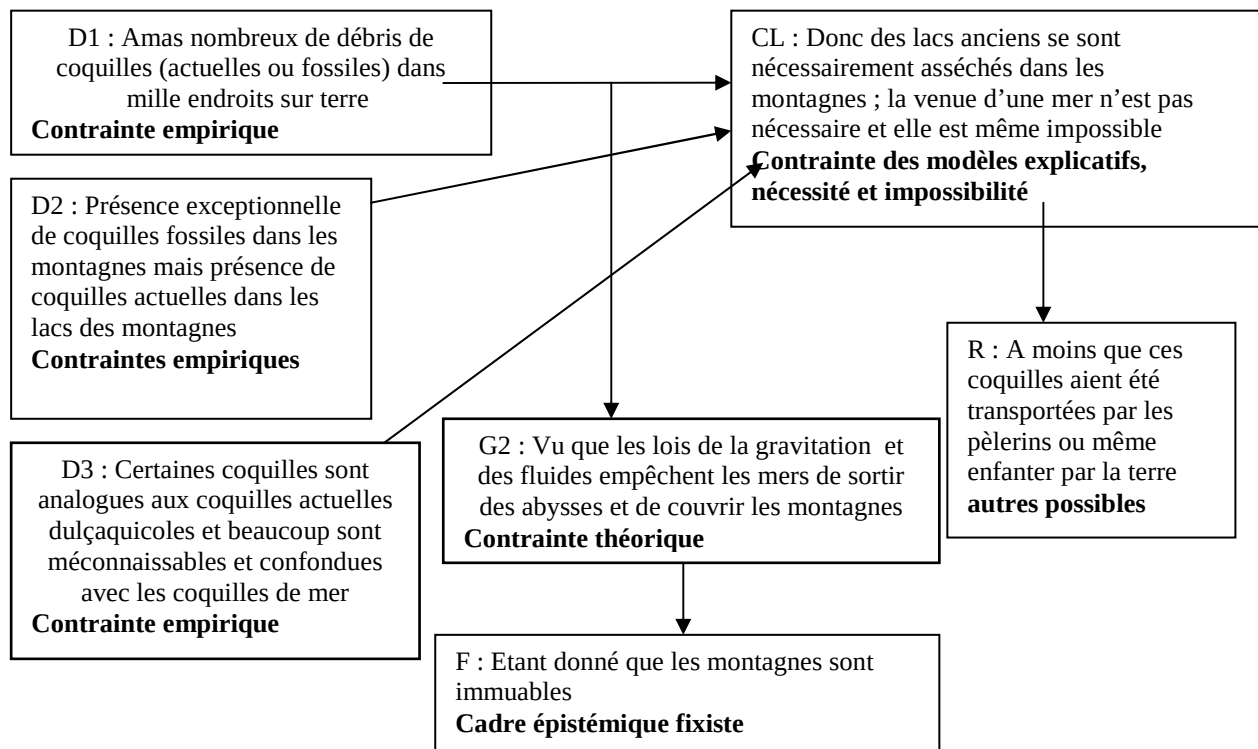
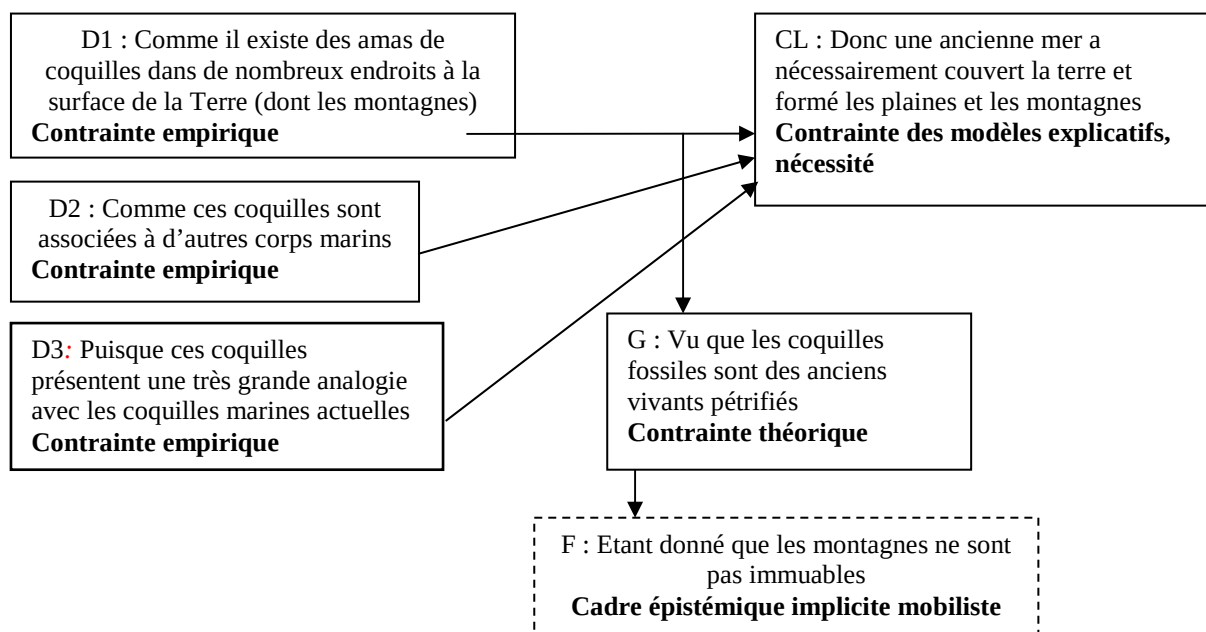


Schéma N° 14 : **MACROSTRUCTURE CONTRE ARGUMENTATIVE,**
Guettard et les coquilles fossiles



Les choix raisonnés sont différents chez l'écrivain et chez le savant. La priorité de Voltaire est donnée à un registre empirique beaucoup plus restreint et à une contrainte théorique. La priorité de Guettard est portée sur un registre empirique élargi à de très nombreux objets fossiles récoltés dans de nombreuses régions parcourues. En définitive les deux adversaires sont sur des registres explicatifs très différents : soit pour Guettard, le registre explicatif est naturel, mobilisant un grand espace géographique et un temps long accordant des changements possibles à la surface du globe ; soit pour Voltaire, il est naturel ou semi-artificiel, se référant à un espace géographique restreint et un temps court fixant les paysages actuels ; soit même pour ce dernier il est fondé sur la création divine et s'affranchit alors de l'espace et du temps.

La place respective de l'hypothèse artificialiste des pèlerins parmi d'autres hypothèses voltairiennes sur l'origine des fossiles tournée en dérision par l'empirisme de Guettard

Nous remarquons que l'hypothèse des pèlerins par Voltaire a beaucoup moins de poids que ne veut lui accorder Guettard. Effectivement, Voltaire est loin de fonder son raisonnement uniquement sur cette idée d'après l'espace de contraintes et de possibles (Schéma N°11) construit à partir du discours de 1768 de Voltaire. Même si Voltaire l'a fait évoluer dans ses écrits pour la rendre plus probable, elle ne repose que sur le nombre conséquent de pèlerins décorant leurs vêtements de coquilles et sur leurs chemins de traverse. En 1768, dans les *Singularités*, ouvrage considéré comme l'essai le plus sérieux de Voltaire par M. Carozzi, il ne reprend plus ses conjectures artificialistes défendues en 1746-1748 à partir des deux empreintes de poissons fossiles

« On a trouvé dans les montagnes de la Hesse une pierre qui paroissait porter l'empreinte d'un turbot ; & sur les Alpes un brochet pétrifié. On en conclut, que la mer & les rivières ont coulé tour à tour sur les montagnes. Il étoit plus naturel de soupçonner, que ces poissons, apportés par un voyageur, s'étant gâtés furent jettés, & se pétrifièrent dans la suite de tems » (Voltaire, 1748/1830, p. 565).

En deux ans, le doute était déjà marqué : « la pierre qui avoit la figure d'un turbot » (1746, édition italienne du *Saggio*), est devenue « une pierre qui paroissait porter l'empreinte d'un turbot » (1748, édition française des *Dissertations*). Et ce doute se poursuivra tout au long de ses écrits sur les poissons comme sur les coquilles. Voyons comment cette hypothèse artificialiste a évolué au cours des différents écrits de Voltaire, en elle-même et par rapport aux autres hypothèses formulées par le philosophe. Dans le tableau N°9 ci-dessous, nous avons fait une synthèse de l'analyse effectuée par M. Carozzi à propos des cinq variantes concernant les coquilles fossiles (1979 et 1983, pp. 68-73) et de notre lecture des chapitres des *Singularités* de Voltaire. En 1768, Voltaire ne relie plus les coquilles fossiles à la proximité des habitations humaines (Carozzi, 1979, p. 86). Il doute carrément de leur abondance et de leur qualité marine à propos des faluns de Touraine, après avoir reçu une

caisse d'échantillons arrivés en très mauvais état. Et il doute surtout, de leur répartition globale à la surface de la terre, dans les plaines comme dans les montagnes. Pour rendre plus vraisemblable son hypothèse des pèlerins, il préfère faire venir ses pèlerins de Saint-Jacques de Compostelle plutôt que de Syrie. Et il leur fait traverser toutes les provinces pour aller à Rome en passant par le mont Cenis. En effet, ce sont les seuls pèlerins qui rapportaient des coquilles fixées à leurs manteaux et à leurs chapeaux, ce qui accréditait son hypothèse. Les grosses coquilles Saint-jacques attachées à leur ceinture leur servaient de gobelets pour boire. S'il a abandonné les empreintes, déjà exceptionnelles, de poissons ou les a changées en fragment de coquille, par contre sa conception artificialiste est transposée encore pour les ossements fossiles terrestres trouvés près d'Étampes par Guettard. Pourquoi, dit Voltaire, ne pas imaginer les reliques d'un ancien cabinet de curiosités ? (Voltaire, 1768/1879, p. 146). En 1768, Voltaire soutient chacune de ses hypothèses secondaires, les pèlerins ou les germes fossiles dans le sol, par un seul argument empirique. **L'hypothèse des pèlerins chez Voltaire n'est qu'une possibilité parmi d'autres, au même titre que celles des germes de fossiles dans le sol** (Schéma N°10, H4), pour mettre en doute les naturalistes sur la validité de leurs nouveaux modèles explicatifs de la formation de la Terre. L'hypothèse des pèlerins n'est donc pas la plus probable pour lui, contrairement à l'hypothèse des lacs asséchés en altitude (Carozzi, 1983, p. 73). Il la concèderait par défaut, à celle d'anciennes mers ayant formé les montagnes qu'il refuse catégoriquement.

Tableau N°9: **Évolution de l'hypothèse « artificialiste » sur l'origine des coquilles fossiles et son rapport avec les autres hypothèses proposées par Voltaire**

Œuvres de Voltaire	1746 Lettre italienne dans le <i>Mercur de France</i>	1748 <i>Dissertation</i>	1767 <i>La défense de mon oncle</i>	1768 <i>L'homme aux quarante écus</i>	1768 <i>Singularités</i>
Hypothèse des pèlerins	transportées par les pèlerins depuis Jérusalem	transportées par les pèlerins et les croisés depuis la Terre Sainte	Un ton un peu goguenard	Pèlerins de Saint-Jacques ont laissé quelques coquilles vers Saint Maurice	Pèlerins de Saint-Jacques de Compostelle pour aller à Rome, de Syrie, d'Egypte, de Grèce, de Pologne, d'Autriche
Hypothèse des germes	produit par des graines et des germes dans la terre	Des fossiles que produit notre terre			Il y renaît des coquilles qui croissent avec la terre
Hypothèse d'une origine lacustre ou dulcicole		Il y a eu autrefois des lacs dans les endroits où l'on voit aujourd'hui des coquilles		Dépouilles de testacés de nos lacs et de nos rivières	Les lacs voisins du Mont Cenis nourrissent de grosses moules dont l'écaille ressemble parfaitement aux huîtres Le fleuve de Gambie et la rivière de Bissao sont remplis d'huîtres
Hypothèse d'une origine marine autochtone sur les régions côtières		fossiles marins de Touraine et de Calabre	Nous avons mille productions terrestres qu'on prend pour des productions marines	Je vous abandonne, si vous voulez, votre falun, pourvu que vous me laissiez mes montagnes	Ces prétendus bancs de coquilles à trente, à quarante lieues de la mer ; cette marne est une espèce de terre et non pas un assemblage d'animaux marins ; une mine de pierre calcaire d'une médiocre étendue
Hypothèse d'une origine marine exotique dans les montagnes	Le terrain sur lequel Paris & Milan sont bâtis aurait servi pendant longtemps de lit à la mer de Syrie	Croire que la mer de Joppe et de Sidon est venue couvrir la Bourgogne et le Milanais	Impossibilité que la mer ait formé les montagnes	Aucune coquille dans les montagnes d'Amérique ; Imaginé que la mer aurait formé le St Bernard	L'océan Indien aurait enveloppé toutes les terres de notre hémisphère

Globalement, dans l'écrit plus tardif *Des singularités de la Nature*, **certaines changements apparaissent dans le discours de Voltaire** à travers tous les chapitres évoquant les fossiles (1768/1779, pp. 128-157) par rapport à ses premiers écrits *Dissertations sur les changements arrivés dans notre globe, et sur les pétrifications qu'on prétend encore en être les témoignages* (1746, cf. Chap. 1.3). Premièrement, il occulte la présence exceptionnelle des

poissons fossiles découverts dans les montagnes, il minimise l'omniprésence des fossiles dans la terre des faluns de Touraine, qui reste pour lui un dilemme, et il retient donc, l'existence de quelques coquilles fossiles. Deuxièmement, il rend plus plausible son hypothèse anthropocentriste en multipliant le nombre de pèlerins. Troisièmement, il veut bien admettre de légers changements à la surface du globe liés, aux volcans, aux séismes ou aux tempêtes marines mais, en aucune façon, de grands bouleversements des paysages actuels. Enfin il concède encore une nouvelle hypothèse, la genèse des coquilles par l'enfentement dans le sol de la terre que nous verrons dans la partie 3. L'analyse de l'évolution des variantes à cette hypothèse des pèlerins –restes de repas, transport par une mer de Syrie, recul d'une mer en Touraine, assèchement de lacs d'altitude, germes du sol- montre que toutes tendent à « minimiser de plus en plus la présence des fossiles marins, soit dans les montagnes, soit dans les plaines » (Carozzi, 1979 p. 93). Son but principal était de contredire ceux qui croyaient aux grandes révolutions du passé de la Terre en se moquant de tous leurs systèmes, et en particulier de l'océan Indien de Fontenelle (Carozzi, 1983, p. 41). Est-ce aussi une rancœur vis-à-vis des académiciens car les portes de l'Académie des sciences lui restèrent fermées (ibid., p. 49) ? Tout ceci dénote une **évolution régressive pour échapper aux problèmes scientifiques** d'une science qui ne peut lui apporter des réponses satisfaisantes (Carozzi, 1979). Voltaire deviendra de plus en plus septique, vis à vis des « révolutions à la surface du globe » et il restera en définitive, sur ses positions fixistes et créationnistes des montagnes qu'il mit en avant, dans le dialogue satirique entre un incrédule et un Créateur dans *L'homme aux quarante écus* en 1768.

Conclusion chapitre 6 : lien entre problématisation et obstacles épistémologiques en histoire des sciences

A travers son dialogue didactique du XVII^e siècle, Du Hamel développe très nettement une **épistémologie partagée entre les références aux Anciens et les balbutiements d'une science inductive jonchée d'obstacles**. Le rapport à l'imaginaire et des analogies fortuites ont entretenu l'obstacle artificialiste. Le singulier – la collection d'objets plus ou moins analogues prélevés tous azimuts parmi la diversité des éléments de la nature- et l'universel – la généralisation hâtive de faits disparates- ont été des entraves majeures à la connaissance objective paléontologique. Dans ces trois rapports aux objets fossiles, la **problématisation de fossilisation est impossible autour des objets naturels fossiles**, car elle est déviée vers des problèmes trop généraux, comme la solidification de toutes les pierres et en conséquence, l'inconscience des véritables difficultés à la connaissance. La position du problème est aveuglée par des arguments d'autorité, un imaginaire intuitif et une pensée généralisante qui court-circuitent le questionnement et l'observation scientifique. « La rationalisation discursive

et complexe a, contre elle, les convictions premières, le besoin d'immédiate certitude » (Bachelard, 1938/2004, p. 48). **Les obstacles sont indétectables** et passent inaperçus dans la communauté scientifique. Ils n'ont même pas encore la caractéristique d'être résistants. Dans ce sens, Du Hamel se défendait par l'intermédiaire d'un de ses personnages contre la multitude des termes qui masquent la compréhension des objets de la nature, contre les savants plus « découvreurs de choses que de mots » (Du Hamel, 1660, livre 2, p. 183 ; Annexe 12).

Au XVIII^e siècle, nous pouvons constater un questionnement divergent qui a alimenté la controverse sur l'origine des fossiles, s'exprimant encore par une modalité artificialiste pas si incongrue que nous pourrions la percevoir au premier abord. **La résistance manifeste de cet obstacle est consciemment convoquée** dans le raisonnement de Voltaire. Nous retiendrons en effet, la posture volontairement heuristique de Voltaire. Celui-ci s'est motivé à la recherche d'une vérité géologique, pour comprendre la formation de la Terre, par des investigations personnelles. Si, à l'âge de cinquante-deux ans, son hypothèse des pèlerins était une boutade (1746), à l'âge de soixante-quatorze ans, cette même hypothèse, retravaillée, participe pleinement aux raisons contre le déplacement des mers, cause, soi disant, de la formation des montagnes (1768). **Les arguments mobilisés par les deux protagonistes mettent en opposition le factuel obtus de Guettard et l'heuristique abusive de Voltaire.** Nous retenons ainsi, sa solution principale rationnelle, l'origine lacustre qui n'a pas été prise au sérieux par ses contemporains. Guettard agit de même et l'omet complètement en se polarisant sur l'hypothèse artificialiste des pèlerins, considérée comme désuète et ridicule. Nous pouvons constater, alors, à partir du questionnement pluriel de Voltaire et des réponses recentrées de Guettard, qu'**un enchaînement et une antériorité des problèmes rendent possible le progrès des sciences géologiques et paléontologiques.** La nature des roches doit être comprise avant la formation des montagnes. La zoologie, la botanique, l'anatomie comparée et plus particulièrement, par rapport à Voltaire, la classification des êtres aquatiques actuels - les formes marines et dulçaquicoles - doivent être clarifiées avant de comprendre la diversité des fossiles affiliés à des paléoenvironnements spécifiques. Effectivement c'est seulement ensuite que pourra être concevable et construite une histoire géologique de la Terre. Que de cheminement, encore à parcourir, pour interpréter les gisements fossilifères en trois dimensions, d'abord à l'échelle régionale –superposition de strates, plissement, discordance et chevauchement-. Que d'abstraction, encore à concevoir, pour intégrer ces gisements fossilifères sédimentaires dans le modèle tectonique global –bassins sédimentaires des marges passives ou des marges actives divergentes, prisme d'accrétion des marges actives convergentes. **La chronogénèse du savoir révèle une problématisation orientée, et les raisons ne prennent sens qu'après dépassement d'obstacles majeurs.** C'est le cas de l'obstacle fixiste qui bloque la pensée sur des temps historiques et ne conçoit que des reliefs immuables. Un cadre épistémique fixiste empêchait Voltaire de concevoir « des temps reculés

qui épouvantent l'imagination » (Voltaire, 1768/1879, p. 153) alors qu'une phénoménologie rigoureuse motivait en priorité Guettard, même si elle nécessitait de laisser en suspens des questions sans réponses. Le cadre épistémique mobiliste, acceptant des bouleversements de paysages à la surface de la Terre, était en cours de structuration grâce aux fossiles représentant d'anciens vivants marins. C'est une garantie qui n'est plus questionnée pour la plupart des naturalistes dans la seconde moitié du XVIII^e siècle.

CONCLUSION partie 2 : la polymorphie de l'obstacle artificialiste convergent et les problèmes associés à propos des fossiles

1. Comparaison globale entre le travail de problématisation des savants et celui des élèves

Les problématiques autour d'un même obstacle, l'artificialisme, viennent d'être abordées aux niveaux didactique et historique. Ces diverses représentations, plus ou moins anthropocentrées, sont anachroniques. Une véritable **rupture avec le savoir institutionnalisé actuel** sur l'origine naturelle des fossiles est constituée. L'étude comparative pose le problème de la pertinence des registres mobilisés par les élèves en regard des registres de la communauté scientifique dans une argumentation. Pour affiner cette comparaison, nous avons construit un tableau qui synthétise les systèmes explicatifs des élèves de CM1, de Jean-Baptiste Du Hamel au XVII^e siècle et de Voltaire, déclenchant la réponse de Jean-Etienne Guettard au XVIII^e siècle. Les indicateurs principaux de leurs pensées respectives sont déclinés afin de repérer les convergences et les divergences, lors des problématisations construites au cours d'une mise en débat scolaire ou historique, à propos des objets fossiles. Nous avons ainsi, trois facettes épistémologiques du concept de fossile en cours d'élaboration qu'un tableau comparatif peut mettre en valeur.

Tableau N°10 : **Comparaison des modes de pensée artificialiste**

Discutants	Elèves de CM1	Dialogue de Du Hamel	Voltaire
Obstacle artificialiste émergent	Modèle artificialiste spontané, images premières naïves	Modèle artificialiste lié aux images premières naïves transmises par les Anciens, opinion commune corrélée à deux obstacles bachelardiens : l'expérience première et la connaissance générale (recherche d'une cause unique pour des phénomènes hétérogènes : minéralisation, diagenèse, pétrification, ossification, formation de coquilles, de squelettes coralliens ou des calculs de vessie)	Modèle artificialiste associé à un phénoménisme (transformation en pierre sans contraintes)
Exemple de formulation	Les hommes préhistoriques ont sculpté les fossiles	Les bélemnites sont des pointes de flèches transformées en pierre Les trochites et entroques (articles et tiges d'encrine) imitent la forme d'une roue ou d'un tambourin	Les hommes dans l'histoire de leurs conquêtes territoriales ou de leurs pèlerinages sont passés par les chaînes de montagnes et peuvent avoir laissé des restes de leur repas ou de leurs objets décoratifs
Analyse/causes mobilisées	Une cause unique : l'homme exploite une pierre originelle OU l'homme moule un être vivant dans une roche malléable	Une cause unique des « jeux de hasard » qui imitent toute forme dans la nature OU Deux causes successives : la technique humaine puis la pétrification ou lapidification mobilisant les vertus de solidification des sels	Une cause unique des « pierres figurées » OU Deux causes successives : le transport par l'homme, puis la fossilisation dans le milieu naturel, mais par contiguïté dans l'espace entre la roche et le vivant apporté
Origine du fossile	Technologique du monde quotidien	Créationniste OU technologique plus ou moins explicite	Créationniste pour les vivants non analogues assimilés à des « jeux de hasard » OU Organique pour les vivants analogues aux actuels
Analyse/raisons de résistance	Certains fossiles ont des formes géométriques analogues à des objets technologiques	Analogie de premier niveau, jeu des métaphores et des images empruntées parfois à la mythologie ou à l'astrologie	Impossibilité que les montagnes porteuses de coquilles fossiles aient été formées par la mer
problématique	Problème isolé de formation et d'origine d'un fossile Centration sur le vivant et sa transformation en pierre	Pas de problématique de fossilisation mais de pétrification : investigation d'une cause unique ou multiple de la solidité de toutes les formations dures ou pierreuses dans la nature	Problème corrélé avec d'autres problèmes connexes construits par la communauté savante : déplacement des mers, genèse des montagnes et temps long
Autres Obstacles associés	Pensée catégorielle : fossile est entier, et non partiel Temps immédiat ou historique Permanence de l'homme sur Terre	Obstacle d'un Créateur	Obstacles épistémologiques : rupture / temps historique, rupture / fixisme des paysages actuels

En nous appuyant sur ce tableau de synthèse, nous allons discuter maintenant, plus précisément, l'isomorphie de l'obstacle artificialiste. Autrement dit, la comparaison des points communs puis des différences, entre les problématisations scolaires et historiques, va nous permettre de clarifier les limites de l'identité de cet obstacle générique.

2. Points de convergence de l'obstacle artificialiste

Les convergences de l'obstacle artificialiste dans nos trois études de cas sont repérées sur deux caractéristiques de l'obstacle, son appartenance à une **opinion s'opposant à la pensée scientifique** « On ne peut rien fonder sur l'opinion : il faut d'abord la détruire. Elle est le premier obstacle à surmonter » (Bachelard, 1938/2004, p. 16) et sa **résistance à la réfutation** (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 116).

Premièrement, l'obstacle artificialiste peut se référer à un **obstacle bachelardien par sa fonction généralisante d'une pensée commune** ayant traversé plusieurs siècles. Nous avons réuni l'obstacle artificialiste flagrant de J.-B. Du Hamel à propos des bélemnites avec l'obstacle artificialiste élargi de Voltaire à propos des coquilles transportées par les pèlerins. L'Homme produirait des objets technologiques qui pouvaient se pétrifier au XVII^e siècle, ou encore, l'Homme transporterait des denrées qui auraient pu se pétrifier le long des traversées lors de ses migrations militaires ou lors de ses pèlerinages au XVIII^e siècle. Nous considérons donc, dans un sens élargi, l'artificialisme comme « l'ensemble des modes de pensée qui affilient tous les objets et phénomènes naturels comme étant l'œuvre de l'homme – technologie ou transport- ». L'origine artificielle –en synonymie à technologique, produit de fabrication par l'espèce humaine- s'oppose à une origine naturelle. Dans le cas de Voltaire, il est vrai, la participation de l'homme est partielle puisque limitée au transport sans nier leur origine d'ancien vivant pour les coquilles analogues aux actuelles. Ainsi, le recours à la participation de l'Homme pour expliquer des objets et des phénomènes de la nature, valorise abusivement son rôle et sa place sur Terre en histoire des sciences. Ce principe général est une facilité de penser. Il induit qu'« une douce léthargie immobilise l'expérience ; toutes les questions s'apaisent [...] toutes les difficultés se résolvent » et il « efface toutes les singularités, toutes les contradictions, toutes les hostilités de l'expérience » (Bachelard, 1938/2004, p. 101). Comme Dieu ou Dame Nature ont représenté ce principe unique créateur pendant de nombreux siècles d'obscurantisme, l'Homme tend à prendre cette place de référent unique. Et l'obstacle artificialiste peut aussi **se référer aux études piagésiennes en tant que pensée fréquente** dans une population d'élèves du primaire. L'artificialisme ou « l'origine fabriquée de toutes choses » est une pensée commune, voire première chez les jeunes enfants (Piaget, 1947/1999). L'Homme a sculpté la pierre fossile, cas d'artificialisme intégral, pour certains élèves de CM1 du XXI^e siècle. Seul, Hugo cherche à trouver un consensus parmi

toutes les idées proposées par ses pairs et construit ainsi une conception artificialiste intermédiaire de type piagétien. L'Homme pourrait avoir modelé des êtres vivants en fossiles, il mélange ainsi une explication artificialisme et une explication naturelle « Déjà ça peut pas être les hommes de Cro-magnon qui les ont taillés parce que ils ont pas assez d'expertise pour savoir bien tailler. [...] ils avaient un petit peu de terre, ils prenaient un animal et pouf ils l'écrasaient dessus. Et ça faisait des traces » (Annexe 4, occurrence 60). L'omniscience de l'adulte et le sentiment filial sont sources d'artificialisme dans une pensée enfantine égocentrique « la participation anthropocentrique constitueraient le vrai noyau de l'artificialisme spontané » (ibid., p.299). Cette causalité est liée au fait que l'Homme ou son parent est tout-puissant à l'équivalent d'un Dieu aux yeux de l'enfant. De plus elle est entretenue par l'absence d'observation et d'expérience directe dans le cas de la fossilisation. Un artificialisme historique et un artificialisme spontanée enfantin ont donc une raison similaire : Dieu, l'Homme puis la Nature se remplacent dans une activité fabricante finaliste. Cette conception est encore très prégnante dans une définition d'un dictionnaire de la seconde moitié du XVIII^e siècle à propos des jeux de la nature « Il y a aussi des pierres figurées qui représentent des choses artificielles, comme si elles avoient été jettées en moule ou travaillées par un Sculpteur » (Valmont de Bomare, 1768-69, tome 6, p. 97).

Directement liée à l'idée d'opinion commune, la **résistance de l'obstacle** artificialiste est la seconde caractéristique convergente. Elle s'est manifestée sur plusieurs séances, dans le déroulement de la séquence pédagogique de la classe de CM1 et elle a perduré sur plusieurs siècles, dans l'histoire des idées de la communauté scientifique. **Selon l'axe didactique, une émergence répétée** de l'obstacle artificialiste est marquée par plusieurs interactions langagières disséminées au cours du projet. Outre son apparition dans le débat à partir de certaines conceptions initiales d'élèves, et la discussion argumentée engagée, ceux-ci y reviennent lors de la sortie à la manière fossilifère et lors de la discussion au retour de cette sortie sur les objets problématiques récoltés –essentiellement les rostrés de bélemnite et les crinoïdes-. Dans les conceptions écrites individuelles et dans le premier débat, la représentation du rôle des hommes préhistoriques était explicitement présente chez Jade, Clara, et implicitement par l'art pictural, chez Margaux, ou par la situation temporelle évoquée, centrée sur la préhistoire et les animaux préhistoriques chez Alice, Antoine et Farès. Lors de la récolte, le premier bilan, effectué avec les élèves sur place, fait émerger à nouveau une représentation artificialiste, même anhistorique, « On pourrait en fabriquer » dit Antoine en train de modeler un pàton de marne (E7, Annexe 8). Lors de la séance suivante, à propos des fossiles énigmatiques de forme géométriques, deux élèves explicitent encore la possibilité d'une production humaine « Peut-être que c'est l'homme de Cro-magnon qui l'a fait » (Armand, E88, Annexe 9) ou encore « Peut-être que c'est une pièce de machine qui est jetée dans la nature et pis ça devient fossile » (Antoine, E95, Annexe 9). L'ambiguïté de ces propositions d'élèves vient du fort doute exprimé par le sourire de l'un et le rire déclenché

par la réponse de l'autre si bien que l'enseignant demande même à Armand si c'est une « hypothèse sérieuse ». En effet croient-ils eux-mêmes à cette proposition ? La prégnance dans ces conceptions révèle un **modèle spontané** favorisé par une analogie immédiate des formes géométriques de certains fossiles et des objets du quotidien des élèves. Elle est en relation avec un **rapport à l'imaginaire immédiat** dans une classe. C'est une démarche fréquente, chez les élèves de primaire, qui traduit une accessibilité de pensée d'une première observation synchrétique. L'obstacle artificialiste est typiquement un **obstacle-facilité** (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 113). Il a déjà été rencontré comme obstacle principal « au coeur de l'apprentissage à réussir » dans une classe de CM2 cherchant à expliquer la formation d'une falaise crayeuse fossilifère à Dieppe (Astolfi, 1991, pp. 182-185). La démarche de tâtonnement, incitée pédagogiquement, permet-elle aussi aux élèves de balayer et d'exprimer toutes les solutions ? Nous pourrions dans ce cas, qualifier l'émergence répétée de l'obstacle artificialiste, de **flexibilité de pensée tournée vers une approche heuristique** plutôt que de résistance à l'obstacle artificialiste.

Par contre, **selon l'axe historique, une ténacité effective** est décelable, jusqu'à être relayée ensuite par une posture heuristique chez Voltaire au XVIII^e siècle. G. Gohau rappelle un extrait d'un texte antique *Les métamorphoses* d'Ovide (1990a, p. 16) dans lequel ancres marines et coquilles fossiles sont associées. De même, au XIII^e siècle, Albert le Grand envisageait en partie, la formation des montagnes par des alluvions marines prouvées par « les débris d'animaux aquatiques et peut-être aussi dans les engins provenant de navires qu'on découvre dans les rochers des montagnes, et dans les cavernes creusées aux flancs des monts » (cité par Gohau, 1990b, p. 57). Enfin Nicolas Sténon (1636-1686), un des pionniers de la paléontologie au XVII^e siècle, associe « des dépouilles d'animaux marins » et « des planches marines » dans son *Prodrome* de 1669 (Gohau, 1990a, p. 74). Dans ces quatre exemples historiques qui traversent les siècles, les coquilles fossiles sont contemporaines de l'homme. C'est pourquoi, elles sont mêlées dans la terre à divers objets de fabrication humaine. L'homme et la nature appartiennent à une même dimension temporelle. **Une chronologie courte** est un point commun à ce mode de pensée et le temps historique est un obstacle sous-jacent à l'artificialisme. En corrélation, un second point commun est de considérer **les reliefs actuels pérennes**. En conséquence, dès que les coquilles sont trouvées en altitude dans les montagnes, l'idée commune de leur transport intervient. Pour Voltaire la difficulté réelle est bien d'expliquer, dans ces lieux élevés, la présence de mers anciennes dont il refuse le déplacement. D'autres causes de transport doivent être mobilisées alors. Et dans sa première réponse à la fameuse lettre italienne anonyme, en 1749 Buffon fait référence à deux auteurs qui font intervenir aussi une cause artificielle de transport des coquilles : pour Tancred Robinson ce sont « quelques coquilles de mer dispersées ça et là sur la terre par les armées, par les habitants des villes et des villages », et pour La Loubère « les singes au cap de Bonne-Espérance s'amuse continuellement à transporter des coquilles du rivage de la mer au-

dessus des montagnes » (Buffon , 1779/1839, p. 139). Mais, si Buffon rappelle ces deux exemples, c'est pour mieux opposer le hasard de cette dissémination minime artificielle et éventuelle à la régularité des dépôts immenses, profonds et multiples de coquilles fossiles à la surface de la Terre

« il ne faut pas croire [...], qu'on ne trouve ces coquilles que par hasard, qu'elles sont dispersées çà et là, ou tout au plus par petits tas, comme des coquilles d'huîtres jetées à la porte : c'est par montagnes qu'on les trouve, c'est par bancs de cent et de deux cents lieues de longueur ; c'est par collines et par province qu'il faut les toiser, souvent dans une épaisseur de cinquante ou soixante pieds » (Buffon , 1778/1839, pp. 134-135).

Et c'est aussi pour construire la nécessité d'un temps long, que Buffon organise son raisonnement suivant « il est impossible que tous les animaux qui habitaient ces coquilles aient existé dans le même temps » (ibid., p. 146).

Enfin, **le rapport à l'autorité des anciens**, très nettement marqué chez Du Hamel, justifie aussi en partie, cette véritable résistance de l'obstacle artificialiste. Les noms donnés par les savants antiques à certains fossiles en sont le reflet. Et d'ailleurs, certains de ces noms sont toujours usités aujourd'hui : le terme de bélemnite est toujours utilisé dans les classifications actuelles et provenant du grec « belemnion » signifie flèche, le suffixe « ite » signifie pierre (Bertrand, 1765, Tome I, p. 63) ; le calcaire à entroques est constitué de très nombreux débris de tige ou de bras crinoïdes, le terme d'entroque vient du grec trokhos¹³⁰ signifiant disque ou roue (Foucault & Raoult, 2005, p. 122). Et si elle s'estompe au XVIII^e siècle, toute forme d'autorité peut dévier le cheminement de la pensée vers d'autres obstacles et conforter une pensée préscientifique. Guettard fait preuve de son autorité savante sur l'origine marine exclusive des fossiles, en refusant d'être attentif à l'hypothèse lacustre de Voltaire. Il en sera de même, sur le rapport à l'argument d'autorité dans une classe. Il peut être exercé par un élève qui en appelle aux savoirs indiscutables des scientifiques (Annexe 4, CM1, Hugo, occurrence 95) que nous retrouverons d'ailleurs exprimés ultérieurement dans la classe de 4^{ème} de collège. Il peut être exercé par l'enseignant dans son choix de modèle pédagogique transmissif. La loi générale de la disparition des espèces vivantes et leurs archives ordonnées dans les roches sédimentaires définissent la paléontologie. Présentée ainsi d'emblée aujourd'hui dans une classe, elle empêchera le questionnement des élèves, elle pourra aussi les séduire par une réponse qui les satisfait. Alors que, l'investigation de cette loi paléontologique a été constructive en histoire des sciences. Historiquement, cette vérité générale paléontologique recherchée et les erreurs successives en confrontation, ont été des moteurs épistémologiques incontestables. « Et c'est en cela que les stades pédagogiques ne sont pas entièrement homologues des stades historiques. L'on peut en effet voir que de telles lois générales *bloquent* actuellement la pensée » (Bachelard, 1938/2004, p.69).

¹³⁰ Dans un dictionnaire de traduction grecque, « trokhos » à trois sens : 1°/ roue ; 2°/ masse ronde, disque, boule ; 3° cerceau. In C. Georgin. (1961). *Dictionnaire Grec/français*. Paris : Hatier. p. 782

3. Points de divergence de l'obstacle artificialiste

L'artificialisme enfantin et l'artificialisme grec aristotélicien sont regroupés, en définitive, sous le même terme « pour désigner la même tendance à confondre la causalité matérielle avec la fabrication humaine » mais ils sont marqués de différences. Le premier est implicite et transcendant à l'Homme selon une croyance en la toute puissance de ses techniques. Le second est systématique en relation avec la philosophie péripatéticienne et il est immanent à la Nature elle-même et au moteur divin (Piaget, 1947/1999, pp. 213-214). Nous avons retrouvé certains de ces critères dans notre étude comparative centrée sur le XVIII^e siècle. En effet, **à travers cette tendance artificialiste globale, de nombreuses divergences** sont repérables entre les trois modèles explicatifs artificialistes. Nous pouvons alors rappeler une autre caractéristique d'un obstacle que Bachelard met en avant sur l'obstacle substantialiste et nous le transposons sur l'artificialisme, « comme tous les obstacles épistémologiques est **polymorphe** » (Bachelard, 1938/2004, p. 117). Les différentes facettes de cette polymorphie s'expriment par la construction des causalités et l'origine du fossile, par la construction des problématiques générant une argumentation spécifique et révélant d'autres obstacles associés (Tableau N°10). Le **premier écart** très nettement repérable entre l'artificialisme mobilisé par les élèves et celui des naturalistes, concerne **les relations causales élaborées**. Cette confusion entre la causalité matérielle naturelle et la fabrication technologique par l'homme, engage une même tendance chez les élèves de CM1 et chez les naturalistes du XVII^e siècle ainsi que chez l'illustre écrivain du XVIII^e siècle. Mais la dimension épistémologique de la communauté scientifique est complexifiée. D'une part, l'artificialisme est intégral en majorité chez les élèves, alors qu'il est partagé chez Du Hamel et partiel chez Voltaire. Ainsi l'origine des fossiles est différemment envisagée artificiellement selon si c'est une sculpture humaine sur une pierre préexistante ou si c'est une arme par la suite pétrifiée ou encore si c'est le transport d'animaux par l'Homme qui seront pétrifiés ultérieurement.

Le **second écart** repérable entre les différents modèles explicatifs artificialistes, concerne **les problématisations des élèves très différentes de celles des naturalistes** si nous comparons les problèmes construits. D'une part, la problématique des élèves est centrée sur **un problème isolé** de formation et d'origine d'un échantillon fossile, disjoint pour la plupart des élèves d'autres problèmes nécessitant une vision élargie spatio-temporelle. Seuls, quelques élèves envisagent les nécessités d'une « disparition » de la mer, d'une émergence des terres et d'un temps long (Annexe 4, Schéma N°6 Cf. 5.31). L'ensemble de la classe est plutôt préoccupé par la pétrification et ses contraintes comme le rapport de taille entre les animaux de grande taille et les petits morceaux de pierres contenant des fossiles, le durcissement pensé comme un changement d'état par dessèchement, la position interne des fossiles dans son rapport à la roche. Dans ce sens, les élèves se rapprocheraient plus de la problématique globale de

solidification et de lapidification du XVII^e siècle. Au contraire, l'artificialisme de Voltaire est **systémique**. C'est un réseau de problèmes corrélés, la genèse des montagnes ultérieure à la création du monde, le déplacement des mers chaudes et un temps long, qui entraînent un rebond de raisonnement vers une pensée artificialiste. Mais les ruptures sont trop importantes pour Voltaire et il préfère soutenir finalement, des relations avec une conception fixiste très résistante. Elle est modélisée par une formation originelle et perpétuelle des montagnes, des bords côtiers et des abysses marins immuables et enfin un temps historique. Jamais les élèves n'évoquent le déplacement des mers bouleversant les conceptions des paysages actuels comme un problème, pour eux, la mer a disparu et ce n'est pas un problème en soi. Alors que, pour Voltaire, c'était la conséquence inacceptable de la problématique centrale de la formation des montagnes. Il s'est beaucoup questionné, jusqu'à même envisager sérieusement, dans le courant de pensée des Physiciens, un changement brutal d'axe d'inclinaison de rotation de la Terre qui aurait pu permettre le déplacement de l'océan Indien (Carozzi, 1983, p. 24). Mais en définitive, son refus sera catégorique d'une théorie de formation montagneuse par la mer, argumenté par de nombreux points à l'encontre de Buffon (ibid., p. 61-62).

4. Problématisation et dépassement de l'obstacle par les savants et les élèves

De même que les difficultés des élèves sont en décalage avec celles des naturalistes, **le dépassement de l'artificialisme sera généré différemment par des temps distincts de problématisation**. Au sein de la classe, le débat a permis de poser le problème du fossile dans ses rapports aux vivants actuels et à la roche encaissante. Il a permis aussi de faire émerger des arguments en faveur d'une origine artificielle ou naturelle. **Dans le milieu scolaire, la résolution effective de l'origine des encrines** est passée par la transformation du problème de fabrication des encrines par l'Homme en trois problèmes : la formation simultanée de la roche et du fossile endogène, l'analogie avec les êtres vivants et la contemporanéité ou non entre l'Homme et les fossiles d'encrines. Le débat ne suffit pas, c'est un moment dans la progression du raisonnement des élèves. Cela ne peut se faire qu'après construction de plusieurs nouveaux arguments scientifiques lors d'une investigation élargie dans le temps et dans l'espace : une généralisation du phénomène de fossilisation à l'ensemble des mondes végétal et animal ; une analogie entre les fossiles et les vivants ; une ubiquité des fossiles découverts dans les strates ; une datation relative de la strate où l'échantillon a été prélevé, bien inférieure aux strates contenant les premiers hominidés ; une confirmation par la datation absolue de – 155 millions d'années de l'étage Oxfordien de l'époque Jurassique. Ainsi les encrines, non contemporaines des Hommes préhistoriques, ne peuvent être le produit de leur fabrication ; elles ne pouvaient que résulter d'un processus naturel. **En histoire des sciences**

la contemporanéité de la roche et du fossile fut démontrée par Woodward (1695/1735). **Quant à la résolution définitive¹³¹ de l'appartenance des encrines au monde vivant animal**, elle fut effectuée au XVIII^e siècle par Guettard (1755). Sa démonstration s'appuie sur les similitudes entre les fossiles dispersés d'astéries ou de pierres étoilées, de trochites, d'entroques et d'encrinites¹³² du cabinet du Duc d'Orléans avec un spécimen exceptionnel de palmier marin ou lys de mer, pêché dans les fonds marins et rapporté au cabinet de curiosité de Mme de Bois-Jourdain¹³³. Une description minutieuse de tous ces échantillons, lui permet une démarche comparative, qui lève tous les doutes sur l'origine organique et animale des fossiles analogues. Les obstacles principaux à cette époque étaient de deux ordres. D'une part, la classification balbutiante des êtres vivants et encore plus celle des fossiles¹³⁴ générait des erreurs : une morphologie globale en convergence avec le port ramifié et enraciné d'une plante, les coraux encore affiliés au monde végétal, des animaux marins, fort éloignés des références quotidiennes liées aux animaux terrestres. Et d'autre part, la dispersion de très nombreux articles d'encrines, séparés au hasard dans les roches, et la régularité de leur forme géométrique, pouvaient rappeler certains cristaux, dans une étude orientée en minéralogie. Guettard met en avant d'ailleurs, le nombre prodigieux d'articles composant l'unique palmier marin qu'il décrit, vingt six mille vertèbres ! (ibid., pp. 235-237). Ce qui s'oppose aux rares échantillons fossiles les plus complets¹³⁵. Il passe aussi en revue, dans le second mémoire, l'historique de toutes les opinions passées pour « deviner » la nature de ces fossiles : soit elle est supposée organique et marine par la pétrification d'une plante pierreuse, d'un lis, de branches de corail, de vertèbres de poissons ou d'une patte d'étoile de mer ; soit elle est encore supposée minérale par une production terrestre (1755, pp. 325-346). Il ne mentionne

¹³¹ Cependant cette résolution définitive doit être relativisée. Car il est intéressant de constater que si le mémoire de Guettard, naturaliste, est paru en 1761 et révèle une connaissance académique dans le cercle des naturalistes parisiens, cela n'empêche pas un apothicaire de province de se questionner encore sur ce type de fossile de crinoïde quelques années plus tard. La distance géographique –Paris et la province- ou la frontière entre les différents domaines d'étude –minéralogie et chimie- jouent nécessairement un rôle d'inertie dans la communication savante et donc dans l'évolution du concept. Lors d'une séance à l'Académie de Besançon en 1763, ce chimiste décrit très précisément une curiosité de la nature sans pouvoir nommer ce fossile qu'il juge exceptionnel car encore jamais rencontré dans aucun cabinet de curiosité (Goy, 1763, Ms académie 7, Mémoire de M. Goy concernant quelques pétrifications trouvées sur le territoire de Besançon, lû à la séance du 26 janvier 1763. *Académie des Sciences, Belles lettres & Arts de Besançon*, 4-5 ; Annexe 22)

¹³² Astérie : article ou « vertèbre » isolés à pointes en forme d'étoile ; trochite : article ou « vertèbre » isolés de forme circulaire appelée aussi rouelle ; entroque étoilée ou radiée : colonne formée par l'empilement des articles précédents ; encrinite : assemblage de ces divers corps précédents qui offrirait une ressemblance avec une fleur de lys, c'est le calice en fait d'une encrine

¹³³ Un officier de vaisseau venu de l'Inde et demeurant à la Martinique envoya à M. de Boisjourdain e spécimen singulier de palmier marin mais il ne put dire exactement dans quelle mer cet animal avait été pêché (Guettard, 1755, p. 225)

¹³⁴ Très peu d'ouvrages s'étaient intéressés à la classification des fossiles. Citons comme référence : Linné (1744). *Système de la Nature* (p. 46). Il classe les entroques et les pierres étoilées en relation avec les animaux de la classe des vers qui comprend toutes les coquilles, les « hérissos de mer » ou oursins, les étoiles de mer. D'autres auteurs les associent aux pinces de mer –Annélides Sabellidés ?- ou aux polypes. Mais le corps mou et la matière de ces derniers sont très différents.

¹³⁵ Guettard ne cite que sept localités en France où les entroques sont complets, dont le village de l'Etoile en Franche-Comté, célèbre pour ses cépages.

en aucune façon, des idées artificialistes. Il démontre plutôt les « preuves incontestables » en faveur d'une origine organique et animale des encrines : les similitudes morphologiques et anatomiques précises entre les fossiles et le corps marin – la symétrie et la dichotomie pentaradiées, les articulations, le canal central, le passage progressif des articles dentés aux articles radiés en allant vers la base, la matière calcaire – puis la régularité et la diversité des formes, et enfin les accidents de perforation ou de fixation survenus obligatoirement de leur vivant. Ce mémoire de Guettard est en définitive, une apologie en faveur d'une démarche empirique « à mesure qu'on a consulté l'observation, les conjectures sont devenues plus vraisemblables, & que l'inspection seule de l'animal même a pû les changer en certitudes » (Fouchy, 1755, p.34). Nous pouvons tout de même être surpris que Guettard n'aille jamais plus loin dans son raisonnement, en stipulant la présence incontestable d'une ancienne mer. De plus, cette trouvaille de 1755, conforta Guettard dans sa conviction que tout fossile devait trouver son analogue vivant au fur et à mesure des nouvelles découvertes des lieux inexplorés et qu'il maintiendra jusqu'à la fin de sa vie en 1786. Il se refusait à l'idée d'êtres vivants disparus, conception qui devait aller à l'encontre de l'« ouvrage de l'Auteur de la Nature » qu'il nomme souvent.

A plusieurs reprises dans cette seconde partie, nous avons dû faire référence à **une conception présente en parallèle de l'artificialisme, la formation in situ spontanée des fossiles**. En classe de CM1, la macrostructure globale du débat mené, révèle des explications de type animiste suggérées par plusieurs élèves (Schéma N°4, Cf. 5.31). Plus particulièrement dans l'étude historique, cette conception est très présente dans le dialogue de Du Hamel (1660, livre 2, Chap. 6) que nous allons analyser plus finement, dans cette troisième partie. Et Guettard la rappelait brièvement dans sa lettre à Voltaire comme une conception erronée de ce dernier « ou bien il prétend qu'elles (les coquilles) se forment dans la terre » (Guettard, n.d. post. 1768a, f. 53r ; Annexe 17). En effet Voltaire, se questionnant très tôt sur la nature, interpellait Réaumur dans un poème sur cette idée « M'apprendra-t-il jamais par quels subtils ressorts L'éternel Artisan fait végéter les corps ? » (Voltaire, 1738/1877, p. 401). Il abonda par la suite dans le sens d'un dénommé La Sauvagère comme nous allons le voir. Cette formation in situ spontanée des fossiles est l'expression d'un obstacle animiste ancré dans l'antiquité, résurgent aux XVII^e et XVIII^e siècles, et appartenant lui aussi à la pensée commune des élèves de primaire. La seconde étude qui va suivre vient donc totalement en prolongement de cette première étude car ce sont les mêmes sources historiques qui sont complétées et une autre phase du même débat scolaire en CM1 qui est en corrélation avec ce modèle explicatif. La pensée dualiste entre l'artificialisme et l'animisme correspond à une pensée générale dans l'histoire de la pensée humaine à propos de l'origine des choses – des astres, des eaux, des arbres, des montagnes et de la terre- (Piaget, 1947/1999, p. 214). Ils

peuvent même s'impliquer mutuellement (ibid., pp. 278 et. 291). Nous allons étudier ce qu'il en est à propos de la nature des fossiles.

TROISIÈME PARTIE : DEUXIÈME ÉTUDE COMPARATIVE, LE PROBLÈME DE LA NATURE DES FOSSILES ET L'ANIMISME PAR SEMENCE ET VÉGÉTATION SPONTANÉE

CHAPITRE 7 : ÉTUDE DE CAS EN CM1, ÉPISODES SUR LA CROISSANCE DES FOSSILES

Dans le cadre théorique de la problématisation, nous allons étudier maintenant, deux autres épisodes de la séance de débat scolaire en CM1 présenté en deuxième partie. Nous attirons l'attention sur le fait que ces épisodes de débat en classe seraient passés inaperçus, ou du moins n'auraient sans doute pas été retenus dans un cadre de réflexion uniquement didactique. La richesse de problématisations et la résurgence de l'obstacle animiste au sein de différentes problématiques historiques –formation des coquilles fossiles par une semence salisitive au XVI^e siècle, formation minérale au XVII^e siècle, formation de germes de coquilles fossiles au XVIII^e siècle- ont retenu notre intérêt. C'est l'étude comparative qui a forcé le regard et une analyse plus approfondie sur cette problématique scolaire. En effet, ces temps de débat scolaires, autour d'un animisme par végétation des fossiles, ont développé une problématisation relativement pauvre en comparaison de l'épisode, étudié précédemment, à propos de l'hypothèse artificialiste des fossiles. Néanmoins, il est intéressant de repérer les raisons qui font que les élèves n'ont pas adhéré à cette phase du débat.

7. 1 Les raisons en jeu dans les épisodes animistes du débat sur la végétation des fossiles : analyse du débat dans le cadre de la problématisation et de l'activité langagière de questionnement

7. 1.1 Vers la schématisation de l'espace-problèmes, choix d'une controverse animiste

Deux épisodes repérés dans la séance de débat en CM1 tentent de **construire une problématique autour de la formation ou la croissance d'un fossile**, lorsque Margaux et Laura viennent présenter leur production respective, rédigée individuellement à la séance antérieure, à partir du questionnement de l'enseignant « Qu'est-ce qu'un fossile ? Comment se forme un fossile ? » (Annexe 2). Le premier épisode du débat autour de cet obstacle de

végétation des fossiles (Annexe 4, occurrences 117 à 254) **n'avait pas été anticipé par l'enseignant** qui s'est trouvé semble-t-il plus démuni ou, moins réactif que lors du premier épisode artificialiste. En effet, le choix d'une présentation par Margaux, était guidé par le repérage d'un obstacle artificialiste puisqu'il semblait s'agir d'une peinture rupestre d'équidés (Annexe 5B). Alors que, le second épisode avait bien été **programmé par l'enseignant** autour de cet obstacle de végétation (Annexe 4, occurrences 460 à 518). La conception de Laura était très explicite sur la construction d'une analogie entre la croissance d'une graine et celle d'une coquille fossile.

Iconographie N° 3 : **Laura, élève de CM1, production écrite sur fossile et fossilisation, cas d'une conception initiale animiste**

Laura

1) Qu'est-ce qu'un fossile ?

Un fossile est un animal très ancien qui a été collé sur la pierre comme ceci.

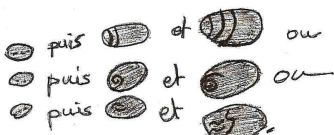
Un fossile est un animal très ancien qui a été collé sur de la pierre comme ceci.



2) Comment se forment les fossiles ?

Les fossiles se forment déjà dans une pierre puis grandie est ça donne ça je vous le dit dans l'ordre (dessin).

Les fossiles se forment déjà dans une pierre puis grandissent et ça donne ça je vous le donne dans l'ordre (dessin).

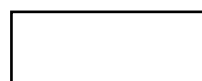


L'enseignant avait interprété ce modèle explicatif enfantin comme des graines de coquilles fossiles en croissance et, chaque « graine de fossile » révèle une diversité d'ornementation de la coquille fossilisée. Cette interprétation sera confortée lors du débat entre élèves.

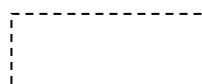
Reprenons maintenant, ces **deux autres épisodes du débat sur l'origine et la formation des fossiles** dont la problématique systémique a été déjà représentée dans le schéma N°2 (cf.

5.31). Elle oppose l'origine naturelle d'ancien vivant (R5A) et la végétation des fossiles (R5B et R5C). Le problème central posé est celui de la transformation de la matière, discutant des relations entre le sédiment/roche et l'animal/fossile. Dans les deux épisodes le rapport entre la pierre et le fossile questionne les élèves comme nous allons le voir, par l'analyse d'une partie de l'espace-problème, représentée par ces deux temps de discussions scolaires (Annexe 4, de la 16^e minute à la 24^e minute du débat puis de la 38^e minute à la 43^e minute). Pour cette seconde étude de cas, nous avons donc schématisé deux macrostructures de la controverse (Schémas N°15 et 16) en regard des formulations des élèves retenues plus spécifiquement sur le problème de l'origine des fossiles par végétation (Annexe 4, occurrences 117 à 254, Annexe 23 ; et Annexe 4, occurrences 460 à 517, Annexe 24). Ces macrostructures visualisent donc plus finement une autre partie de la problématique d'ensemble (Schéma N°2) vue auparavant. Rappelons que la légende de chaque macrostructure se réfère aux formulations d'élèves repérées et retenues de la transcription du débat (Annexes 23 et 24). La problématique dans ce **premier épisode du débat de la classe de CM1 se rapportant à l'obstacle de végétation des fossiles**, se décline en trois sous-espaces de problèmes fondamentaux : la croissance d'une pierre en analogie au monde végétal, une fossilisation partielle ou incomplète en relation avec la taille des animaux fossilisés et enfin, un évènement catastrophique induisant la disparition sélective des vivants sur Terre.

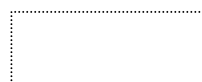
Légende des schémas N°15 et N°16



Problème de la croissance d'une pierre



Problème du rapport de taille entre les animaux vivants et les fossiles, fossilisation partielle



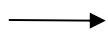
Problème d'un évènement brusque

Q = question

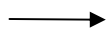
R = réponse ou argument

O = objection ou contre-argument

-bis = complément de réponse, de question ou d'objection



QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question



RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question

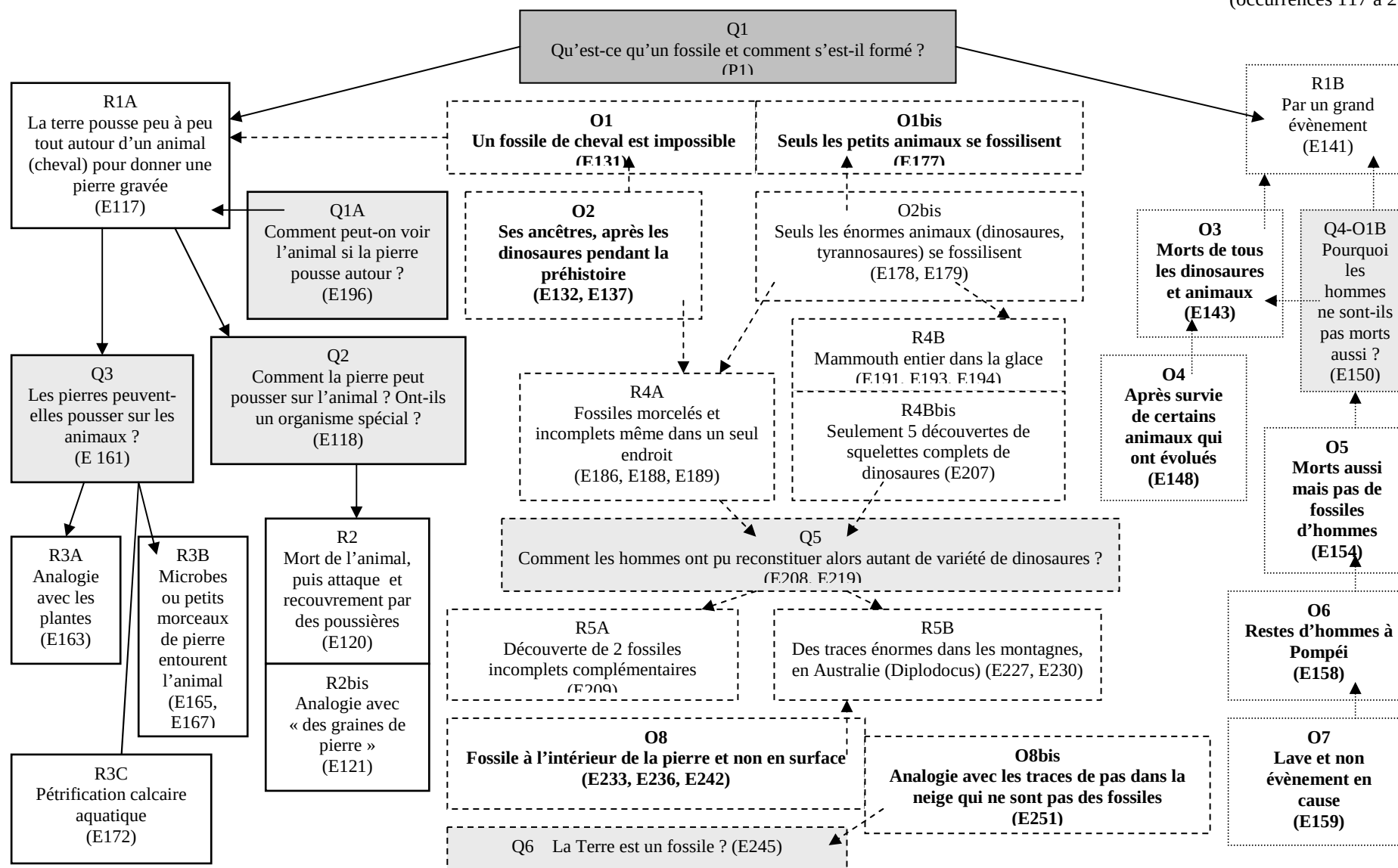


RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexes4)

(P) : occurrence professeur

Schéma N°15 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE de la classe de CM1 / obstacle de végétation des fossiles** -épisode 1-
(occurrences 117 à 254)

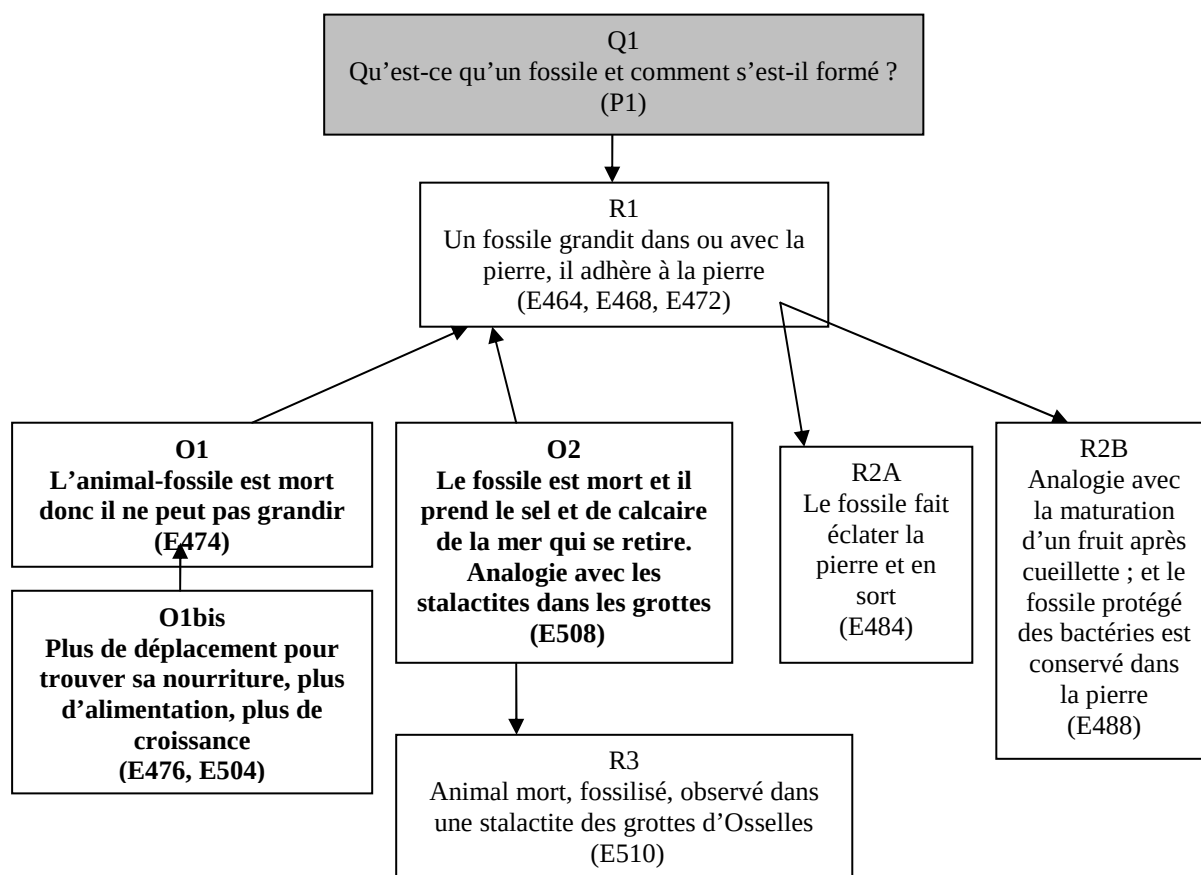


Les élèves proposent deux réponses divergentes au problème initial offert par l'enseignant, la végétation d'un fossile (R1A) ou une catastrophe (R1B). La discussion à partir de cette seconde proposition reste complètement isolée dans le débat. Par contre, par rapport au problème de l'origine du fossile, **la thèse ambiguë d'une reproduction d'un fossile** dans la terre et de sa croissance est marquée chez plusieurs élèves. La terminologie utilisée pour expliquer maladroitement la fossilisation prend beaucoup appui dans le monde végétal (R1A, R2bis, R3A) : « quand la terre elle va pousser un peu, pis là plus autour, elle pousse et là c'est tout autour de l'animal » (Annexe 23 ; Margaux, occurrence 117, Annexe 4A) ou encore « C'est comme des graines de pierre » (Annexe 23 ; Hugo, occurrence 121, Annexe 4A). C'est plus un obstacle lexical qui paraît induire le problème de croissance du fossile dans la terre. Margaux emploie « pousser » et ce terme est repris systématiquement dans le questionnaire qui rebondit sur cette formulation (Q1A, Q2 et Q3). La difficulté de trouver les termes appropriés fait qu'elle se réfute ensuite (Margaux, occurrences 165 et 168, Annexe 4A). Et Hugo a enchaîné sur l'analogie avec des graines, terme proche de grain, traduisant par homonymie « poussière, microbe, petites pierres, petits morceaux de pierres » utilisés par Margaux et l'enseignant qui tente de traduire sa pensée (occurrences 120, 168, 170, 171). Hugo se récusé plus loin en affirmant qu'il plaisantait « Oui j'ai dit comme ça en rigolant, des graines de pierre » (Hugo, occurrence 166, Annexe 4A). Cette conception offre peu de résistance et la détermination d'Yvan pour expliquer un encroûtement calcaire du fossile semble y mettre fin (R3C). Elle est donc difficilement explicitée et argumentée par les élèves. De plus, très rapidement, le problème de croissance de la terre ou de la pierre enrobant l'animal fossilisé rencontre des objections. Et un embranchement de réflexion est amorcé sur **le problème de la taille d'un fossile et de l'animal fossilisé ; la controverse principale** est entre ceux qui pensent qu'un fossile résulte d'animaux de petites tailles uniquement (O1bis) et ceux qui les contredisent en se référant aux animaux monstrueux, les squelettes de dinosaures dont les tyrannosaures (O2, O2bis) et les mammoths entiers congelés dans la glace sibérienne (R4B). En conséquence deux problèmes annexes en découlent, la fossilisation partielle liée à une biodégradation (R4A) et la reconstitution des espèces fossiles trouvées incomplètes (Q5) puisque la fossilisation de squelette entier est bien perçue comme étant exceptionnelle (R4Bbis). La méthode proposée par complémentarité des découvertes fossiles est intéressante (R5A) mais le discernement du concept de fossile se pose à nouveau. Les élèves ont du mal à envisager d'une part le morcellement d'un fossile ou la fossilisation partielle ; et d'autre part ils sont à la recherche d'une généralisation d'un type d'objet fossile entier comme d'un processus unique. La multiplicité des objets fossiles et des processus de fossilisation leur échappe –la conservation d'organes avec des recristallisations discrètes comme les coquilles de bivalves, la pétrification d'organes par remplacement total de la matière originelle comme les troncs d'arbres silicifiés, la mémorisation par moulage de l'organisme externe ou interne comme les nombreuses coquilles d'ammonites. Certains

refusent donc les traces de vivants comme fossile (O8 et O8bis) alors que d'autres le certifient selon une émission documentaire (R5B). Cette controverse aura mobilisé à nouveau une forte participation de la classe, onze élèves (cinq filles et six garçons) au total sur les vingt-neuf élèves de la classe.

La problématique dans le **second épisode du débat de la classe de CM1 se rapportant à l'obstacle de végétation des fossiles**, se décline en un seul sous-espace concernant uniquement le problème de croissance d'un fossile.

Schéma N°16 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE de la classe de CM1 / obstacle de végétation des fossiles - épisode 2 -** (occurrences 460 à 517)



La présentation de Laura explicite bien la conception d'une croissance d'un fossile « puisque le fossile il, la pierre elle grandit, pis l'animal il grandit donc le fossile, il grandit avec » (R1 ; occurrence 472, Annexe 4A). Une objection vigoureuse émise par Vincent intervient aussitôt en rappelant la corrélation nécessaire entre vivant et croissance « Mais non ! Mais l'animal, vu que mais vu qu'il est mort quand il devient fossile, ça peut... il peut pas grandir ! [...] il peut pas grandir parce qu'il a plus de croissance, il ne mange plus rien ! ...Il peut plus se déplacer donc il trouve pas les éléments qu'il lui faut pour manger et donc il peut pas grandir ! » (O1 et O1bis ; occurrences 474 et 476, Annexe 4A). Il sera soutenu par Estelle puis par Yvan « Comme il ne peut plus grandir, si il est dans la mer, le sel, il (le fossile) peut

prendre le sel, pis comme la mer elle s'est un peu en allée avec quand il pleut il reste des résidus de calcaire pis d'autres matériaux qui sont dans l'eau et pis ça fait de la pierre. Comme les stalactites dans les grottes » (O2) L'ambiguïté reste entre la mortalité de l'animal et la capacité du fossile à prélever dans son milieu des éléments pour sa constitution. La pétrification exceptionnelle d'un fossile dans une stalactite est mise en avant (R3). Par contre d'autres élèves supportent Laura dans son raisonnement. A la question implicite du phénomène permettant la croissance d'un fossile, deux embranchements d'inférence apocritique sont engagés. Emma est convaincue d'une « croissance végétale » d'un fossile au point de faire éclater la pierre le renfermant (R2A), un peu semble-t-il comme la mue d'un animal vivant. Alice élabore une analogie possible avec la fructification et la conservation (R2B). Les élèves oscillent donc entre une force ou une structure interne à l'animal et une cause externe qui lui permettrait d'être enveloppé de sable ou de calcaire.

7. 1.2 Problématisation et questionnement d'élèves

Des questions sont **explicitées par les élèves uniquement dans le premier épisode**. Il est intéressant de comparer les types de questions formulées en rapport avec chaque problème déclinant la problématique principale de la nature et de l'origine des fossiles.

Tableau N°11 : Typologies des questions explicitées par les élèves lors du premier épisode animiste sur la nature des fossiles

Questions d'élèves (formulations simplifiées)	Catégorisations du questionnement ¹³⁶	Problèmes d'appartenance du questionnement
- Les pierres ne peuvent pas <i>pousser</i> sur les animaux ? (Yvan, E 161) -comment la pierre peut <i>pousser</i> sur l'animal ? (Hugo, E118) - Ont-ils un organisme spécial ? (Hugo, E118)	- Question fermée contenant une réponse négative - Question ouverte de raisonnement - Question fermée de raisonnement	problème de la croissance d'un fossile
-On ne peut pas voir l'animal si la pierre <i>pousse</i> autour ? (Emma, E196)	Question fermée contenant une réponse négative de raisonnement	problème de découverte d'un fossile dans une pierre
- S'il y a eu un gros événement et que tous les animaux soient morts pourquoi les hommes ne sont-ils pas morts aussi ? (Vincent, E 150)	Question de raisonnement et de mise en relation	Problème de contemporanéité des fossiles et de l'Homme
-Comment les hommes ont eu le modèle de reconstitution ? (Vincent, E208) -Comment connaître alors autant de variété de dinosaures ? (Vincent, E219) -A ce compte là (les traces de dinosaures et nos pas dans la neige), la Terre c'est un fossile !? (Emma, E245 et 251)	- Question ouverte de raisonnement et de mise en relation - Question ouverte de raisonnement et de mise en relation - Question ouverte de raisonnement et de mise en relation	problème de la fossilisation et de la reconstitution

Concernant le problème de la croissance d'une pierre, les questions associées ont été regroupées dans la première partie du tableau. Elles sont de nature beaucoup plus fermée et leur fonction est aussi plus restreinte dans l'engagement d'un raisonnement scientifique. Concernant le problème de la catastrophe naturelle ou le problème de la reconstitution de la diversité des fossiles découverts sur terre, les questions offrent une richesse scientifique plus importante. Elles sont toutes de nature plus ouverte. Et leur fonction révèle des corrélations effectuées par les élèves, sur la coexistence de l'Homme et des animaux au cours des temps, sur la méthodologie de reconstitution des fossiles incomplets ou encore sur la Terre complètement fossilisée. Ce sont donc en partie ces questions qui démontrent la dévolution du problème aux élèves et qui vont faire progresser la problématique globale. De plus une question implicite d'importance « Quelle est la taille possible des animaux fossilisés ? » joue un rôle dans la progression de la problématique vers le problème central de la fossilisation totale ou partielle pour les élèves.

¹³⁶ Légende rappelant les définitions utilisées par O. Maulini (2005a, p. 39) :

Question fermée : une seule réponse possible ; Question ouverte : plusieurs réponses possibles ; Question factuelle : invite à donner une information ou à nommer une chose ; Question de raisonnement : exige de l'observation, un argument, la mobilisation de plusieurs ressources « comment ? » ; « pourquoi ? » ; Question de mise en relation : fait appel à des opérations de transformation de l'information

Dans le **second épisode, le questionnement est inexistant**. Seule une remise en cause de l'assertion de croissance d'un fossile est mise en avant et à propos de laquelle une question aurait pu être convoquée « Comment un fossile peut-il grandir ? », implicitement sous-jacente dans la discussion. Elle avait été formulée autrement dans le premier épisode puisque inversement c'est la pierre qui « poussait » sur l'animal (Schéma 16, Q3). Voyons s'il peut y avoir problématisation, c'est-à-dire construction de raisons, même sans questionnement explicite d'élèves.

7. 2 Les raisons en jeu dans la controverse animiste principale du débat sur la végétation des fossiles : analyse du débat dans le cadre de la problématisation et de l'activité d'argumentation

Nous nous recentrons donc sur le deuxième épisode où toute la controverse porte véritablement sur la conception de végétation des fossiles, le premier épisode semblant plus porté sur une maladresse lexicale ou une croissance de pierre enrobant un fossile.

7. 2.1 Vers la schématisation d'un espace de contraintes

D'une partie de l'espace-problème, représentée par les macrostructures de la controverse, à l'espace de contraintes et de possibles, le corpus tente d'être réduit aux savoirs apodictiques, c'est-à-dire essentiellement aux nécessités construites par les élèves de CM1 sur l'origine des fossiles par végétation ou non. L'espace de contraintes et de possibles schématisé différencie et valorise trois registres spécifiques du savoir scientifique, le registre empirique, le registre explicatif et le cadre épistémique catégorisant ainsi la nature des arguments convoqués par la classe. Cette centralisation vers des nécessités se fait en trois temps méthodologiques.

Du débat en classe à l'identification des contraintes mobilisées par les élèves

Le premier temps est celui de **l'identification des contraintes dans le débat entre élèves**, c'est-à-dire les passages obligés qui contraignent le raisonnement des élèves dans leur cheminement de connaissance commune vers le savoir paléontologique. Nous rappelons que les interventions du professeur ne sont pas prises en compte et constituent une réduction du corpus définie au départ de notre étude. Lors de cet extrait court de débat presque toutes les **interactions langagières des élèves sont pertinentes** car elles **convergent vers le problème de croissance d'un fossile**. Tous les élèves mobilisés tentent de répondre s'il est

scientifiquement envisageable qu'un fossile puisse grandir. Seul l'extrait de discussion portant sur la schématisation inventée des divers fossiles par Laura (Annexe 4A, occurrences 492 à 499) reste en dehors et est exclu de notre corpus. Nous retenons uniquement comme unités d'analyse les occurrences ou **les parties d'occurrences d'élèves en rapport avec la problématique de l'origine animiste des fossiles**. Dans ce second temps d'analyse scolaire, les raisons en œuvre dans le débat déclinent le problème de la végétation des fossiles par des éléments critiques de nature empirique ou conceptuelle. Chaque intervention critique est mise en avant dans le débat mais elle peut être discutée et non acceptée par toute la classe. Le chercheur doit interpréter les interactions langagières des élèves qui relèvent d'un caractère de nécessité. **Aucune nécessité n'est explicitée clairement par les élèves dans la thèse animiste comme dans la thèse naturelle**. La thèse animiste engage une seule nécessité, la croissance simultanée de la pierre et de l'animal suggérée au départ par Laura « la pierre elle grandit, pis l'animal il grandit donc le fossile, il grandit avec. » (Annexe 4A, occurrence 472). Sinon cette thèse engage essentiellement des possibilités.

Emma, occurrence 478, 480, 482	Il est mort mais il peut comme il est trop serré, il est par exemple trop gros par rapport à la pierre. Et pis elle s'écarte. Et bien ...après la pierre elle commence à éclater et il peut sortir [...] Non pas éclater mais ...grossir [...] Ben la pierre et l'animal ! Enfin pas l'animal .
Emma, occurrence 484	Enfin pas grossir mais ... Comme il est, il se trouve pas assez bien dans la pierre, bien il essaye de se remettre un peu mieux enfin sans être vivant.
Alice, occurrence 488	C'est un peu comme les fruits comme quand ils ont été cueillis, ils peuvent encore mûrir et du coup ils peuvent peut-être encore ben...Comme ils sont conservés dans la pierre
Alice, occurrence 490	il peut p'être encore grandir parce que 'y a pas les bactéries

L'ambiguïté entre l'animal et le fossile, le vivant et le mort, le minéral et l'organique est nettement marquée. La croissance cependant pour ces élèves ne semble pas être une fonction exclusive du vivant et peut s'effectuer pour un animal mort ou dans le monde minéral. La mise en histoire de cette croissance possible d'un fossile reste très imprécise et elle n'est étayée que par un registre empirique très restreint dans le monde végétal. La croissance et la conservation d'un fossile auraient comme analogues le mûrissement et la conservation d'un fruit. Les explications prudentes ponctuées de « peut-être », d'analogie ou de contradictions ne démontrent pas une adhésion solide à cette conception. Et la seule assertion « Ben si, un fossile ça peut grandir » (Annexe 4, occurrence 503) va être réfutée par l'ensemble des nécessités de la thèse naturelle, **déduites « en miroir » des impossibilités explicitées associées aux contraintes théoriques mobilisées**. Trois élèves s'opposent à la croissance des fossiles dans la pierre.

Vincent, première réfutation Occurrence 474	Mais l'animal mais vu qu'il est mort quand il devient fossile,... il peut pas grandir !
Vincent, complément de réfutation Occurrence 476	Ben il peut pas grandir parce qu'il a plus de croissance, il ne mange plus rien ! ...Il peut plus se déplacer donc il trouve pas les éléments qu'il lui faut pour manger et donc il peut pas grandir !
Estelle, seconde réfutation Occurrence 501	C'est pas possible qu'un fossile grandisse
Estelle, complément de réfutation Occurrence 504	L'animal et le fossile, quand la pierre vient et bien après il ne bouge plus alors il ne peut pas grandir parce qu'il est déjà mort !
Yvan, troisième réfutation, occurrence	Comme il ne peut plus grandir, si il est dans la mer, le sel, il peut prendre le sel, pis comme la mer elle s'est un peu en allée avec quand il pleut il reste des résidus de calcaire pis d'autres matériaux qui sont dans l'eau et pis ça fait de la pierre.

L'argument principal d'objection est une contrainte théorique liant la croissance aux autres fonctions du vivant, le déplacement et l'alimentation. La mort, antérieure ou simultanée à la pétrification, arrête toute croissance. Peut-être que l'animisme est latent quand Yvan parle du fossile capable de prendre le sel de la mer. Ainsi en miroir de cette objection répétée la nécessité d'un processus naturel est avancée, l'encroûtement salin ou calcaire. Une seconde contrainte théorique se prononce, la régression d'une mer salée ou la richesse de l'eau de pluie en éléments divers -sels, calcaire, autres matériaux-. Puis en corrélation le piégeage exceptionnel d'un animal dans une stalactite d'une grotte régionale constitue un contre-exemple à la végétation d'un fossile. Ces quelques nécessités ferment le raisonnement sur la cause naturelle. Pour finir il semble y avoir un consensus sur l'impossibilité de cette formation spontanée des fossiles.

Des contraintes identifiées à leur catégorisation

La première catégorisation des contraintes repérées peut se faire selon **la fonction des raisons invoquées par rapport à la cause animiste**, selon un angle de **contraintes d'ouverture ou de fermeture du problème** opérées. Soit les interactions langagières des élèves peuvent fermer le problème par une objection ou une impossibilité (occurrences codées Cf. dans le tableau N°12 ci-après, extrait du débat transcrit en Annexe 4). Soit elles peuvent rebondir par une nouvelle solution à envisager et élargir le champ d'exploration (occurrences codées Co. dans le même tableau N°12 ci-après). Les occurrences interprétables dans ce sens par le chercheur, sont marquées en caractère gras (cf. tableau N°12 ci après). C'est donc un jeu verbal qui s'opère entre une **fermeture du débat sur les nécessités et une ouverture du débat sur les possibles**. Comment les **réfutations** de la cause animiste, la végétation des fossiles, vont s'enchaîner pour mener aux **conjectures** de la cause naturelle d'ancien vivant ? La seconde catégorisation des contraintes se fait alors selon **la nature des arguments convoqués dans la controverse animiste**. Tout ce qui est accessible à l'observation

correspond au **registre empirique**. Les contraintes empiriques sont très réduites, ancrée dans le quotidien des élèves. Elles mobilisent le monde végétal, le monde animal et le monde minéral à part égal. Le **registre des modèles** est plus diversifié. Les contraintes sur les modèles explicatifs comprennent des solutions explicatives concernant l'intérieur des objets considérés dans la nature, un vivant, un fossile, une pierre, l'eau de mer ou de pluie. Chaque objet peut être considéré comme une « boîte noire » dans lequel l'élève imagine une pluralité de phénomènes. Ces contraintes peuvent avoir un statut de contrainte forte théorique ou alors elles acquièrent seulement un statut de contrainte faible ou possible. Reprenons un extrait du débat et appliquons lui notre double catégorisation : par rapport à la nature scientifique de l'argument, contrainte empirique (CE) ou contrainte des modèles explicatifs (CM) ou contrainte théorique (CT) ; et par rapport à la fonction de l'argument dans la controverse, contrainte de fermeture (Cf) ou possibilité d'ouverture (Po).

Tableau N°12 : Extrait d'une controverse scolaire animiste sur l'origine des fossiles, catégorisant les interventions des élèves, selon la nature ou la fonction des arguments avancés

Numéro d'occurrence		Catégorisations
472	E (Laura) : Ben puisque le fossile il, la pierre elle grandit, pis l'animal il grandit donc le fossile, il grandit avec.	CM Cf
476	E (Vincent): Ben il peut pas grandir parce qu' il a plus de croissance, il ne mange plus rien ! ...Il peut plus se déplacer donc il trouve pas les éléments qu'il lui faut pour manger et donc il peut pas grandir !	Cf CT
478	E (Emma) : Aussi je suis pas d'accord avec Vincent. Il est mort mais il peut comme il est trop serré, il est par exemple trop gros par rapport à la pierre. Et pis elle s'écarte. Et bien ...après la pierre elle commence à éclater et il peut sortir.	Po CM
	[...]	
488	E (Alice) : C'est un peu comme les fruits comme quand ils ont été cueillis, ils peuvent encore mûrir et du coup ils peuvent peut-être encore ben...Comme ils sont conservés dans la pierre	CE Po CM
	[...]	
504	E (Estelle) : L'animal et le fossile, quand la pierre vient et bien après il ne bouge plus alors il ne peut pas grandir parce qu'il est déjà mort !	CM CT Cf
508	E (Yvan) : Comme il ne peut plus grandir, si il est dans la mer, le sel, il peut prendre le sel, pis comme la mer elle s'est un peu en allée avec quand il pleut il reste des résidus de calcaire pis d'autres matériaux qui sont dans l'eau et pis ça fait de la pierre. Comme les stalactites dans les grottes.	CT/CM CT Po CT CM CE
510	E (Mathieu) : Oui parce qu'une fois aux grottes d'Osselles et bien dans une stalactite où t'avais un petit heu, un p'tit animal dedans qui était fossilisé.	CE Cf
<i>Les catégories de nature (CM ou CE ou CT) et de fonction (Po ou Cf) sont alignées en face des formulations des élèves retenues et mises en caractère gras</i>		

Deux logiques explicatives s'affrontent, la croissance d'un fossile ou la pétrification naturelle après la mort de l'animal. Au départ la conception de Laura d'une croissance simultanée entre l'animal et la pierre pour former le fossile apparaît comme une nécessité, erronée du point de vue scientifique. Et c'est de l'alternance entre des possibles imaginés de végétation de

fossiles, explications prudentes ponctuées de « peut-être », et une objection répétée de mortalité obligée avant la fossilisation que peu à peu émergent quelques nécessités convergentes vers une pétrification naturelle : nécessité d'une formation pierreuse enrobant l'animal mort, nécessité d'un milieu aqueux chargé de sels ou de calcaire, nécessité de retrait de la mer dans notre région de Franche-Comté riche en grottes.

De la catégorisation à l'espace de contraintes en jeu, les liens entre les différents registres, empirique et des modèles, et le cadre épistémique

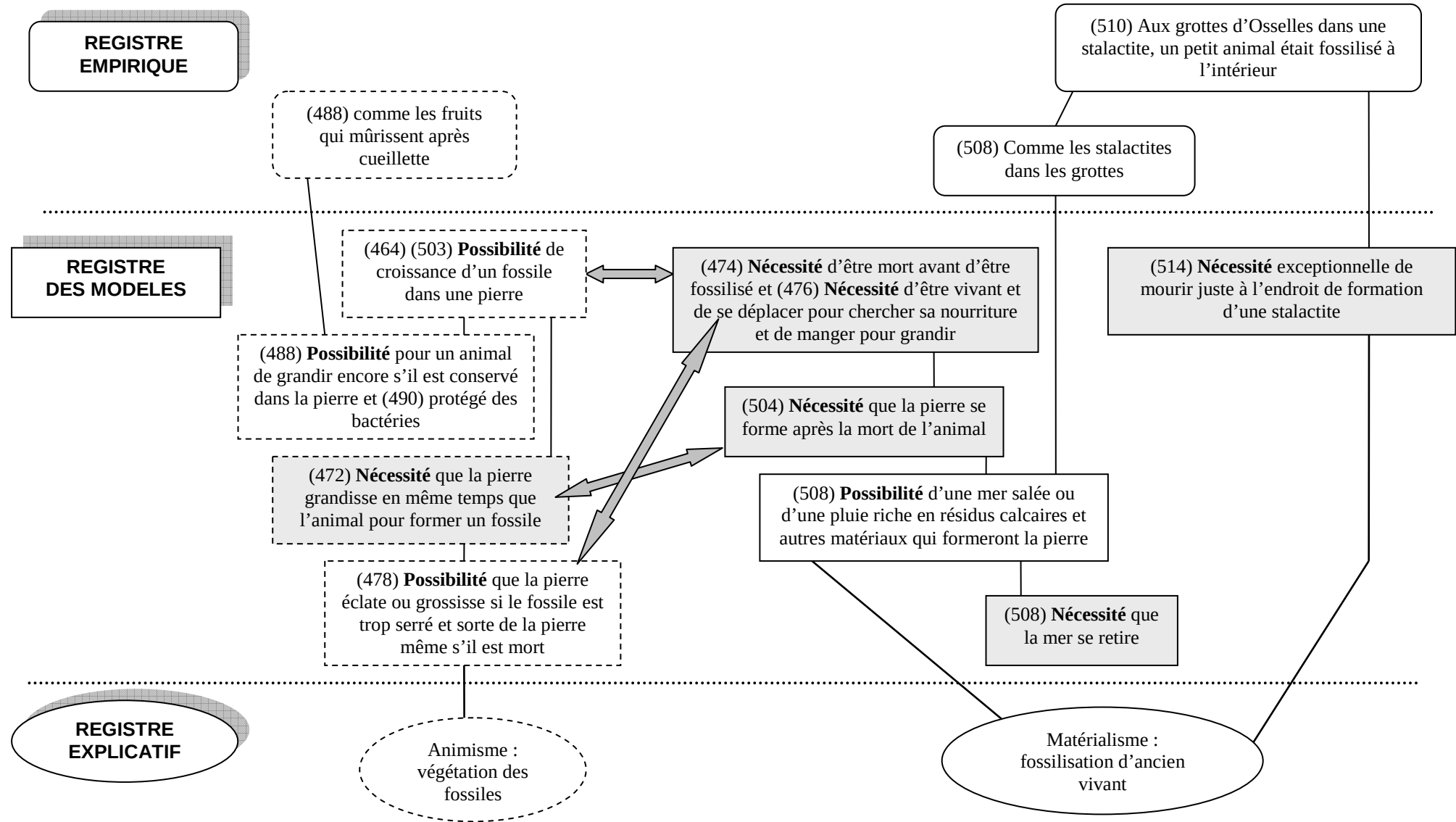
Nous pouvons remarquer que les liens entre les éléments du registre empirique et du registre des modèles sont uniques. Chaque constat empirique -fructification, déplacement et alimentation de l'animal, formation de stalactite- est corrélé à une nécessité d'explication – croissance d'un fossile, pétrification post-mortem, encroûtement calcaire. Chaque cadre épistémique, de végétation ou de pétrification des fossiles fonctionne séparément. Nous constatons que **l'articulation des contraintes est faible** pour le cadre épistémique de végétation des fossiles. Elle est plus développée pour le cadre épistémique de fossilisation en enchaînant une cascade de nécessités qui constitue une mise en histoire : croissance du vivant de l'animal, mort, pétrification marine, retrait de la mer, encroûtement calcaire terrestre ou piégeage dans une stalactite. Sans conteste le rapport au temps est problématique dans les mises en histoires qu'ils imaginent. Les différentes contraintes prétendues par les élèves dans la discussion sont donc quelque peu articulées et un espace des contraintes en jeu peut être dessiné pour traduire la dynamique de problématisation.

7. 2.2 Représentation globale et analyse de l'espace de contraintes ; constat d'un temps de débat peu problématisant

En rapport avec le débat précédent sur la taille des fossiles, nous pouvons supposer que les élèves ont pu garder en tête l'existence de fossiles de différentes tailles. Ce constat empirique, implicite, a pu induire la recherche d'un modèle explicatif de croissance, essentiellement, peut-être chez les élèves qui ne conçoivent une fossilisation initiale réservée aux petits animaux. Nous nous devons de rester prudents car aucune corrélation n'a été explicitée entre les deux épisodes liés à la végétation des pierres ou des fossiles. Nous aboutissons à une schématisation globale, le nouvel espace de contraintes en jeu dans le cadre scolaire d'une dynamique moindre de problématisation. Les nombres affiliés à chaque argument représentent le numéro des occurrences retenues du débat transcrit (Annexe 4), pertinentes en lien avec le problème animiste dans ce temps court de débat. Ces arguments pertinents des élèves sont représentés par la méthodologie retravaillée des espaces de contraintes. Un espace

de formulations nous sert de base de travail et nous permet de revenir, si besoin, sur les formulations exactes des élèves (Annexe 25). Pour l'espace final, nous avons repris la différenciation entre les trois registres mais en identifiant les arguments qui revenaient à chacun des protagonistes. Et les argumentations opposées s'organisent non seulement dans un **espace de contraintes mais aussi de possibles** (Schéma N° 17). Un codage différencie les trois registres, le registre empirique, le registre des modèles et le registre explicatif. La controverse scolaire oppose l'origine naturelle d'ancien vivant et la croissance in situ des coquilles fossiles dans la terre. Un autre codage différencie l'appartenance à chaque système explicatif.

Schéma N°17 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES**, extrait de débat en CM1 : **Les fossiles peuvent-ils grandir ?** (Occurrences 460 à 517)

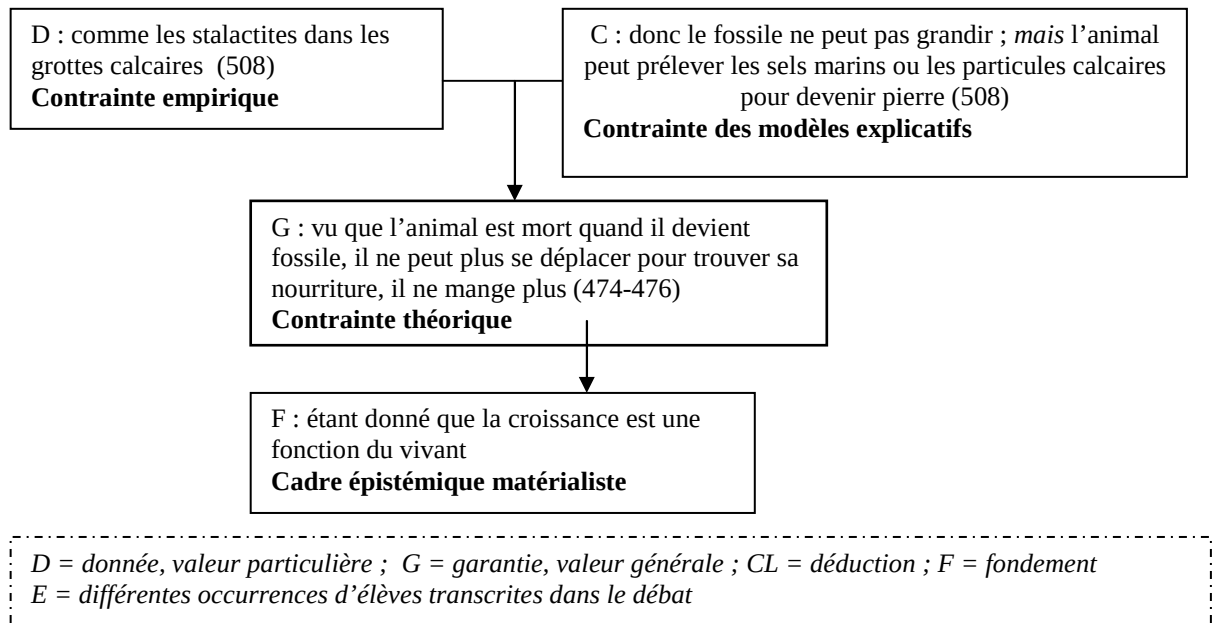


Leux logiques explicatives en opposition, la croissance d'un fossile ou la pétrification naturelle, mobilisent sept élèves dans cette discussion. La co-construction conceptuelle enrôle moins d'élèves que dans l'épisode artificialiste et leur participation reste modérée et écourtée. La catégorisation binaire empirique et explicative ne met en valeur aucune tension problématique entre ces deux registres (CE-CM). Malgré tout, la logique des mises en tension, marquées par les doubles flèches dans le schéma, est intéressante. **Ces points de tension coexistent au sein du registre des nécessités et des possibilités** sur les modèles explicatifs : croissance affiliée au vivant ou au fossile, modelage d'un animal mort ou croissance minérale. Ces nœuds du débat scientifique révèlent les désaccords des élèves mais aussi **une interaction entre des possibles et des nécessités** qu'il est intéressant de remarquer dans chacun des systèmes explicatifs. D'un côté, s'il est possible qu'un animal grandisse dans une pierre, alors il faut que les accroissements de la pierre et du fossile-animal soient simultanés. D'un autre côté, la nécessité que la pierre se forme après la mort de l'animal conduit à l'idée d'un milieu aqueux. Elle reste au statut de possibilité qui questionne encore les élèves, les concepts physiques nécessaires étant non maîtrisés pour les élèves de cet âge. Et inversement, la possibilité d'une ancienne mer conduit à la nécessité de son retrait, et donc d'un paysage ayant changé. Au final, dans le système animiste, une seule nécessité est construite et sera contredite, contre quatre nécessités dans le système matérialiste. Le poids des nécessités en construction est plus grand dans le modèle explicatif du vivant que dans le modèle explicatif animiste. Globalement, le statut heuristique l'emporte sur le statut apodictique.

7. 2.3 Pas de problématisation sans argumentation soutenue

La problématisation se situe plus comme une ébauche de constructions de raisons possibles ou nécessaires que comme des nécessités consensuelles. Car **l'argumentation reste peu développée** surtout celle défendant la cause animiste. Les élèves n'apportent aucune garantie à leur raisonnement, ni aucun fondement explicite. Nous passons d'une analogie végétale à l'idée d'une croissance minérale d'un fossile qui semble être un modèle spontané sans assise argumentative. La contre-argumentation défendant la pétrification est plus explicite et peut fonctionner selon le modèle de Toulmin.

Schéma N°18 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE en faveur de l'origine naturelle des fossiles, en controverse de l'animisme**



Les élèves maîtrisent mal le champ empirique ce qui induit qu'ils ne le partagent pas ou que des analogies erronées puissent être retenues. De plus le point problématique le plus important concerne finalement les processus de fossilisation. Or ils sont établis sur les questions délicates en chimie minérale de dissolution, de substitution et de cristallisation des minéraux. Le seul élément empirique signifiant pour la fossilisation, la concrétion calcaire revêt un caractère trop exceptionnel tel qu'il est présenté. Ce champ d'explication difficile ne peut être qu'imprécis chez les élèves de cet âge et la discussion s'appauvrit. Il n'a **pas de problématisation possible sans une argumentation soutenue**. Parfois la problématisation est empêchée par un registre des modèles explicatifs très pauvre (Orange, 2001), dans notre étude de cas c'est le registre empirique qui est insuffisant. Le retour critique sur les modèles conçus n'est pas suffisamment soutenu par une phénoménologie étayée. La complémentarité entre la conceptualisation et l'objectivation ne permet pas de clarifier la tension entre les modèles et les objets ou les phénomènes plus ou moins familiers des élèves (Martinand, 1994, p. 118).

Conclusion chapitre 7 : lien entre problématisation et travail sur l'obstacle animiste dans le cadre scolaire

L'obstacle animiste est présent individuellement avant le débat et **collectivement** pendant le débat. Cinq élèves le questionnent surtout pendant le premier épisode et trois

élèves seulement l'entretiennent pendant le second épisode. Aussi la construction argumentative des élèves accompagnant Laura et sa conception animiste est peu soutenue. La plupart des élèves ne se sont pas approprié l'idée de Laura comme crédible et défendable. Alors que cette notion de reproduction ou de croissance d'un fossile était explicite déjà dans certaines conceptions initiales d'élèves. Cinq élèves différents pouvaient être concernés par cette typologie dans leurs conceptions initiales. Si Emma s'investit fortement dans les deux épisodes animistes en regard de sa conception première « Les fossiles sont des animaux qui se sont reproduit sur des pierres. Par exemple ce poisson avant a existé et il s'est reproduit sur cette pierre », ce n'est pas le cas d'autres élèves identifiés initialement. Armand n'intervient jamais alors qu'il donnait une définition ambiguë de fossile « un fossile est un animal en pierre reproduit ». Il en est de même pour Orlane « c'est une pierre qui petit à petit prend la forme d'un animal ». Ou encore Romane aurait pu se manifester pour reprendre sa conception initiale qui expliquait aussi la croissance d'une coquille par un dessin très similaire à celui de Laura « de toutes petites graines se sont installées sur la coquille ». L'obstacle est émergent, défendu mais sans développer une véritable logique argumentative en faveur d'une origine par végétation des fossiles. En définitive cet obstacle animiste manifeste **une résistance collective faible**.

La conception correspondant à l'obstacle est forcément repérée dans la classe puisqu'elle est mise en avant par l'enseignant. Mais **la problématisation est faible aussi**. Elle génère un seul contre-argument, la nécessité d'être vivant pour grandir. Les élèves tendent tout de même à dégager un modèle explicatif d'ancien vivant marin enveloppé de sels ou de calcaire au cours du temps. Mais la critique empirique et conceptuelle induite n'est pas très développée. De plus, le registre explicatif organique s'oppose « mollement » au registre explicatif minéral. D'une part, parce que le modèle explicatif associé reste flou. Et d'autre part, parce que la distance entre ces deux conceptions est peut-être trop grande pour engager le déploiement d'une véritable problématisation (Orange, 1999, p. 92). Cette ébauche de problématisation ne semble pas suffisante pour fissurer l'obstacle animiste et encore moins pour le dépasser.

En conséquence le potentiel de problématisation de la controverse animiste est moindre par rapport à la controverse artificialiste dans le cadre scolaire. Les fonctions argumentatives des activités langagières dans la problématisation ont joué un rôle plus faible que dans la controverse artificialiste. La problématisation esquissée n'a pas pris en charge vraiment l'obstacle animiste. Le questionnement véritable des élèves porte plus sur le rapport de taille entre les animaux vivants et les fossiles récoltés. C'est pourquoi ce débat est globalement moins productif. Il serait nécessaire d'analyser précisément les interventions enseignantes pour repérer les aides plus ou moins fortes qu'il a apportées dans cette problématisation esquissée. S'il a été repéré et étudié c'est que nous avons été alertés surtout par les conceptions historiques animistes récurrentes que nous allons aborder maintenant.

CHAPITRE 8 : PROBLÈMES ET OBSTACLE RÉCURRENT DE LA SEMENCE MINÉRALE, EN DÉBAT JUSQU'AU XVIII^E SIÈCLE

Nous avons repéré un extrait d'un débat historique du XVIII^e siècle qui mobilise deux protagonistes, un savant provincial, La Sauvagère et l'académicien J.-É. Guettard. La Sauvagère fonde son argumentation sur l'idée d'une semence minérale préexistante dans la terre. Correspondant de Voltaire, il défend résolument son désaccord avec la communauté scientifique sur la nature des fossiles. L'auteur avait tout de même trouvé les finances et une maison d'édition à deux reprises (1763, 1776). Il met en avant une conception de végétation spontanée des fossiles dans la terre et il persiste malgré l'acceptation de l'origine organique marine des fossiles par la communauté scientifique et le déplacement de leurs problématiques vers les conséquences que cette validation entraîne – les mouvements des mers, la formation marine des montagnes, une disparition des espèces vivantes, un temps long de l'histoire de la Terre-. Ce texte de La Sauvagère est méconnu car il développe une conception de l'origine des coquilles fossiles déjà erronée à son époque ce qui l'a complètement discrédité aux yeux des savants dont Guettard. Il provoque cependant une réponse développée de l'académicien renommé qu'est Guettard. Dans un premier temps nous allons étudier les argumentations respectives des deux adversaires contemporains afin de pouvoir comparer leur problématisation avec celle des élèves de primaire. Dans un second temps nous allons rappeler combien l'obstacle animiste, que révèlent les écrits de La Sauvagère, est plus fréquent que nous aurions pu le supposer a priori. D'une part des prédécesseurs ont construit des problématiques très différentes au travers de ce même obstacle convergent. Selon un parcours historique, les premiers débats fictifs à propos des fossiles de Bernard Palissy (1580) et de Jean-Baptiste Du Hamel (1660) peuvent les révéler. D'autre part, même au siècle des Lumières, encore nombreux sont les contemporains de La Sauvagère qui manifestent une pensée animiste pour fonder une partie de leur raisonnement à propos de la signification des fossiles. Le second intérêt pour notre étude est donc de considérer cette polymorphie de l'obstacle animiste en rapport avec la paléontologie qui traduit une résistance diachronique considérable qui passe à travers les différentes problématiques depuis l'antiquité jusqu'au XVIII^e siècle, où elle ne représenterait plus guère qu'un soubresaut anachronique d'une vision séculaire (Bouillet, 1986 ; Buffetaut, 1998, pp. 20-26) et éventuellement un rappel de vitalisme de la Renaissance (Ellenberger, 1988, p. 226).

8. 1 Une étude de cas d'une controverse entre J-E Guettard, Voltaire et La Sauvagère, un état du savoir au XVIII^e siècle à propos de la végétation des coquilles fossiles

Nous allons étudier une autre controverse sur la nature et l'origine des fossiles à travers trois textes historiques qui se répondent au siècle des Lumières à propos d'une des explications considérées comme une des plus fantaisistes aujourd'hui, la semence minérale des fossiles et leur croissance dans la terre. A ce sujet le manuscrit découvert de J.-É. Guettard précédemment exploité (n.d. post. 1768a, Annexe 17) comprend aussi **une réponse à Voltaire "Formation des pierres et des coquilles"** (n.d. post 1768a, Annexe 26). Elle correspond à l'un des chapitres des *Singularités de la nature* "**Observation importante sur la formation des pierres et des coquillages**" (1768/1879, pp. 148-149), dans lequel ce dernier relate l'assertion d'un dénommé M. Le Royer de La Sauvagère en la prenant en considération « Il y renaît des coquilles qui d'abord ne se distinguent qu'avec un microscope, et qui croissent avec la pierre » (ibid., p. 148). Même si Voltaire la trouve étonnante, il ne la conteste pas et l'utilise plutôt comme tremplin pour revenir sur sa question persistante de l'origine marine des fossiles, assurée d'une façon prématurée selon lui par la communauté scientifique du XVIII^e siècle. Dans ce trio mis en avant, Voltaire pourrait apparaître comme jouant le rôle du naïf¹³⁷ entre deux théoriciens, La Sauvagère, défenseur des anciens et Guettard, naturaliste argumentant les idées nouvelles sur la nature et l'origine des fossiles. Cette triade n'est pas sans rappeler les interlocuteurs des dialogues galiléens. Le texte de Voltaire, très court, résume simplement les arguments essentiels de La Sauvagère. Il peut sembler paradoxal que Voltaire puisse adhérer à la naissance spontanée des coquilles fossiles de La Sauvagère alors qu'il rejette la génération spontanée des animaux de Needham dans le même essai des *Singularités de la nature* en 1768. Il serait plus enclin à accepter l'idée d'une végétation spontanée des fossiles à partir de semences originelles disséminées dans la terre que l'idée d'une génération spontanée des petits animaux liée au hasard et en l'absence de toute matière (Carozzi, 1983, p. 88). Cette nouvelle observation de La Sauvagère permet surtout à Voltaire de reposer la problématique centrale, l'origine des coquilles soi disant marines. Cette idée défendue par les naturalistes de l'époque ne convainc pas du tout Voltaire « qui, de dépit de ne pouvoir imaginer cette façon, prend le parti désespéré de croire que ces coquilles se sont formées dans la terre » (Guettard, 1783a, p. 10). Nous nous intéresserons donc plus particulièrement aux deux protagonistes principaux. Voyons d'où vient **la logique**

¹³⁷ Même si Voltaire n'est pas si crédule en définitive comme nous l'avons analysé précédemment dans le chapitre 6, le doute lui paraît plus sage que les assertions « Notre siècle commence à bien observer : il appartiendra aux siècles suivants de décider, mais probablement on sera un jour assez savant pour ne décider pas. » (Voltaire, 1768/1879, p. 149)

de ce système explicatif erroné de La Sauvagère (1763, 1776) en la prenant au sérieux, a priori, dans le contexte historique de cette époque. Cette analyse historique s'efforcera de valider ou non les arguments avancés par les protagonistes, La Sauvagère et Guettard, et de comprendre comment cette logique de végétation spontanée et les observations associées peuvent être appréhendées à **la lueur des connaissances actuelles de la région géologique de Chinon**. De plus si cette théorie fut admise comme possible par l'illustre écrivain, elle fut tout de même **acceptée par de nombreux autres savants du siècle des Lumières**. Tandis que Guettard l'écartera et fera une **réponse institutionnelle catégorique et ironique à son encontre** (1783a, pp. 10-23) dont nous avons retrouvé l'ébauche à travers la réponse manuscrite à Voltaire (Annexe 26) ainsi que le manuscrit correspondant plus détaillé. C'est le brouillon d'un extrait du chapitre de ses volumineux mémoires (ibid., pp. 12-27). Il reprend de nombreux passages qu'il accompagne à la fois de guillemets et aussi des numéros de pages référencées dans la marge pour signifier qu'il reprend le texte exact des dissertations de La Sauvagère. Il s'appuie donc sur cet ouvrage plus complet qui est une édition beaucoup plus développée de son système de végétation des pierres qu'il avait déjà publié en 1763 en huit pages seulement. Mise à part quelques ratures et de légères différences dans la syntaxe, le manuscrit reste très proche du texte imprimé du point de vue des contenus et de la construction argumentative ; c'est donc sur ce dernier écrit plus complet que nous nous appuierons finalement pour l'analyse qui suit. La démarche de Guettard peut être interprétée comme une volonté de s'attaquer publiquement et préférentiellement à La Sauvagère plutôt qu'à Voltaire, car sa réponse manuscrite à Voltaire est restée privée, semble-t-il (Annexes 17, 20 et 26).

8. 1.1 Le statut de La Sauvagère, détracteur de Guettard, dans la communauté savante du XVIII^e siècle

Un statut de naturaliste amateur de province

Felix-françois le Royer d'Artezet de La Sauvagère (1707-1781), antiquaire français né à Strasbourg, devint capitaine au corps royal d'artillerie, puis colonel, et ingénieur en chef des îles d'Oléron. Dans ses excursions il s'occupait de recherches archéologiques, qu'il poursuivait après s'être retiré sur ses terres de Touraine. Il fit partie de l'Académie des Belles-Lettres de la Rochelle¹³⁸ et avait une notoriété de gentilhomme dans les provinces rochelaise et tourangelle. Il voulut valoriser ses prospections et découvertes par des publications. Il réussit

¹³⁸ Il serait peut-être intéressant de poursuivre la recherche amorcée et le repérage de quelques écrits en rapport avec La Sauvagère situés à La Rochelle, inscrits dans le catalogue général des bibliothèques de France (Popoff, 1993)

ainsi à imprimer tout d'abord un petit mémoire *sur une pétrification mêlée de coquilles* observée dans sa propriété près de Chinon (1763, 8 p.). Il fut suivi d'une publication plus importante, *Recueil de dissertations ou recherches historiques et critiques*, dans lequel il s'intéressait aux anciens camps fortifiés romains des régions d'Anjou et de Touraine et dans lequel aussi il développa de nouvelles assertions sur la végétation spontanée des coquilles dans l'étang de sa propriété du château des Places accompagnées de planches de dessins d'une collection de coquilles fossiles de ces mêmes régions (1776, pp. 127-171). Il pensait ainsi apporter de nouvelles idées sur la falunière de Touraine, célèbre par les écrits de Réaumur (1720), nouvel éclairage qu'il affiche clairement dans son discours préliminaire (ibid., pp. xvij-xxvj).

Un gentilhomme naturaliste en correspondance avec Voltaire

La Sauvagère avait échangé quelques correspondances avec Voltaire (1704-1778/1977-1993) à propos de son système sur la génération des coquilles fossiles dans la terre. Il avait pris soin d'envoyer ses dissertations à Voltaire qui avait reçu favorablement la théorie proposée. D'un esprit critique exacerbé, dans le souci de ne pas asseoir les Naturalistes de l'époque dans des certitudes, Voltaire remettra en cause et tournera en dérision jusqu'à la fin de sa vie le système d'origine marine admis par la communauté scientifique. Ainsi La Sauvagère fut-il encouragé par Voltaire et accrédité dans son opinion sur la végétation spontanée des fossiles, après leurs échanges d'ouvrages respectifs. Dans sa première lettre de remerciements à l'envoi du premier livre de La Sauvagère, Voltaire fait la relation avec ses propres observations sur ses terres et les tailles effectivement très différentes de certains fossiles

« Je m'applaudis de penser comme vous. J'ai toujours cru que la nature a de grandes ressources. Je suis dans un pays tout plein de ces productions terrestres que les savants s'obstinent à faire venir de la mer des Indes. Nous avons des cornes d'Ammon de cent livres et de deux grains. Je n'ai jamais imaginé que de petites pierres plates et dentelées fussent des langues de chiens marins¹³⁹, ni que tous ces chiens de mer soient venus déposer quatre ou cinq mille langues sur les Alpes. » (Voltaire, 1704-1778/1977-1993, Tome 7, p. 733-734, 1347, lettre du 11 juin 1764).

¹³⁹ "langues de chiens marins" : appelées aussi pierres-langues ou glossopètres. Nous en reparlerons par la suite car c'est un des arguments avancés par Guettard contre le système de La Sauvagère. Ces fossiles ont été identifiés par une démonstration de Fabio Colonna en 1616 et une confirmation de Nicolas Sténon en 1667, comme étant des restes d'êtres vivants, des dents de requins. (Ellenberger, 1988, tome 1, p 191-192). Voici ce qu'en dit Valmont de Bomare dans son *Dictionnaire raisonné universel d'Histoire naturelle* : « Nom qu'on a donné improprement par une suite d'erreurs populaires, à des dents pétrifiées ou fossiles, & qu'on croyoit être des langues de divers animaux ou serpens, changées en pierre. Les glossopètres, qu'on devoit nommer odontopètres ou ichthyodontes, sont des dents de plusieurs poissons marins. [...] Les moins grandes, qui sont triangulaires ou en faulx, sont crenelées par les angles, avec une base fourchue : elles sont reconnues pour les dents de la mâchoire du requin ; les pointues, qui ressemblent aux dents de chien, sont reconnues pour celles de la mâchoire inférieure du même animal. [...]. Cette multitude fatigante & inutile de différens noms barbares, ne sert qu'à embrouiller l'étude de l'Histoire Naturelle ; c'est pourquoi nous les épargnerons au Lecteur. » (Valmont de Bomare, tome V, 1768-1769, pp. 145-147).

Le système que La Sauvagère défendait pour expliquer l'origine des fossiles s'élevait contre la communauté scientifique du XVIII^e siècle qui avait reconnaissance d'autorité tels les académiciens comme Buffon ou Guettard. Or Voltaire se défiait de ces nouveaux systèmes inventés par les naturalistes qu'il trouvait par trop imaginaires et fabuleux « Les prétendus lits de coquilles qui couvrent le continent, le corail formé par les insectes, les montagnes élevées par la mer, tout cela me paraît fait pour être imprimé à la suite des Milles et une Nuits. » (Voltaire, 1704-1778/1977-1993, Tome 10, pp. 458, 12012, lettre du 25 octobre 1770). C'est pourquoi en 1777, à la fin de sa vie, il l'encouragea même à témoigner dans la presse scientifique de l'époque « Notre siècle se vante d'étudier l'histoire naturelle, hélas ! Il n'étudie que des fables contre nature. Je vous invite, Monsieur, à faire des protestations dans quelque journal sage, et digne de vous, comme le Journal des Savants. » (Voltaire, 1704-1778/1977-1993, Tome 13, p. 23-24, 15003, lettre du 10 août 1777). Ces recherches souvent onéreuses, et les publications auxquelles elles aboutirent, amenèrent la ruine de La Sauvagère. Il mourut pauvre, après avoir fait paraître son dernier ouvrage, synthèse de tous ses travaux, en 1776. Une partie de ce recueil (La Sauvagère, 1776, pp. 127-171) va nous intéresser maintenant puisque c'est cet ouvrage qui est pris en référence par Guettard. En premier lieu il reproche à La Sauvagère de s'être appuyé sur les « plaisanteries » d'un « homme célèbre et illustre », autrement dit Voltaire, pour garantir son idée anachronique et saugrenue sur l'origine des coquilles fossiles « on n'en peut chercher raisonnablement la cause que dans la mer, & on ne peut voir, qu'avec le plus grand étonnement des Auteurs qui, de nos jours, veulent attribuer ces amas de coquilles à des causes ridicules, ou à une naissance spontanée encore plus ridicule » (Guettard, 1783a, p. 8). En second lieu, il reproche à Voltaire d'avoir abusé de son autorité. En prenant en considération l'idée d'une formation des faluns de Touraine à partir de germes, selon le témoignage de La Sauvagère, il la cautionne prétentieusement. Et, « comme tous les Charlatans des Sciences, il trouve des partisans qui adoptent ses erreurs, ou qui les modifient, sur-tout si c'est un Auteur aussi célèbre que M. de Voltaire. Son disciple (La Sauvagère) [...] se croit grand homme, parce qu'il erre avec un grand homme » (ibid., p. 10). La Sauvagère se serait donc cru invincible en s'offrant l'appui de l'illustre Voltaire. Abordons plus finement son système explicatif, sa problématisation et les raisons de l'enracinement de l'obstacle animiste.

8. 1.2 La problématique de la végétation des pierres et des coquilles et le système explicatif de La Sauvagère

Tout le système de la Sauvagère s'appuie sur un **raisonnement analogique avec les plantes**. Il est construit à partir du **principe de croissance des semences**. En premier lieu, l'idée

centrale de son système repose alors sur le **concept de germe et sur des observations à différentes échelles de nombreuses coquilles**

« Elles sont en général toutes petites & il y en a dont la petitesse est telle qu'on a peine à les apercevoir distinctement.[...]Il s'en voit parmi ces couches de ces coquilles quelques unes comme celles de mon étang, telles que les Cames, les Telines et les Griphites ¹⁴⁰; elles ne sont pas plus grandes.[...] Tout ce pays entre la Loire & la Vienne, est rempli d'une infinité de plus grandes coquilles, dont beaucoup sont les mêmes en gros volume que les petites de la falunière ou de l'encroutement de l'étang du Château des Places. Ces grandes coquilles se trouvent généralement dans toutes les carrières de pierre de Tuffeau de la Touraine & de l'Anjou » (La Sauvagère, 1776, pp. 156 et 158).

C'est pourquoi aussi au début de ses dissertations La Sauvagère insiste sur la taille variable des coquillages allant de cinq lignes à dix huit lignes, ce qui équivaut dans le système actuel de mesure à une variation de un à quatre centimètres. Le terme latin employé par La Sauvagère (1776, p. 140), les « **seminia** », signifiant « semence ou graine que l'on sème », est en rapport avec la taille extrêmement faible des coquilles apparemment observées. En second lieu, de par cette différence de taille il en déduit **une pétrification par un phénomène de croissance végétative des coquilles fossiles** dans « une carrière végétante à l'instar des végétaux vivans, comme les légumes du jardin, & les autres plantes, cependant d'une manière beaucoup plus lente » (ibid., p. 133). La seule différence avec le monde végétal est donc la durée des cycles attestés de formation pierreuse coquillière de vingt-cinq à quarante années. Il nomme ce processus de plusieurs manières « végétation ou génération spontanée des Coquilles fossiles » (ibid., p. 127 ou p. 144), « encroûtement lapidifique qui y végète », ou encore « métamorphose de vase glutineuse & poisseuse » (ibid., p. 130). Il retrace **un cycle de croissance des coquilles en parallèle de la roche**. En premier temps ces coquilles sont invisibles « dans l'enfance de la pierre » car « les germes coquilleux sont imperceptibles ». Par contre il a de nombreux témoins qui les ont observés à ce stade à la faveur d'un miroir de glace d'eau du bassin Des Places, faisant une loupe grossissante naturelle ; en second temps on les voit au microscope quand la pierre commence à durcir ; et en troisième temps dans « La pierre plus avancée en âge, alors les coquilles extrêmement petites s'y voient sans le secours du microscope : elles deviennent plus grandes à mesure que la pierre se forme » (ibid., p. 135). Il dit bien s'être défendu contre cette « croyance, cette illusion ou ce préjugé, ce merveilleux » mais il est assuré en définitive d'avoir apporté les preuves de ce « fait de la nature » indubitable « que ce sont les germes, jeux de la nature » (ibid., p. 139) qui ont produit les coquilles fossiles. En affiliant **le concept de germe aux jeux de la nature** il se réfugie derrière de nombreux auteurs antiques et contemporains qu'il interprète¹⁴¹ pour

¹⁴⁰ Les noms des coquilles fossiles peuvent être traduits en terme actuels, après consultation des planches de « Coquillages, fossiles, et pétrifications en Touraine et en Anjou dessinés d'après nature –échelle 1- et gravé par Decaché » (La Sauvagère, 1776, pl. V) comparées aux planches de l'ouvrage de conchyliologie de la même époque très utilisé (Dezallier, 1742/1757/1780, pl. XLVI-XLVIII) : ils correspondent à des coquillages bivalves de la famille des Vénérédés, des Tellinidés, encore actuelles et des « Gryphides » disparues

¹⁴¹ En effet, il est surprenant qu'il semble associer à son opinion Fontenelle qui, au contraire, spécifiait à propos des coquilles fossiles d'ammonites : « Il n'est plus question des jeux de la Nature pour expliquer toutes ces

accréditer sa conception et que nous verrons ultérieurement. Il réfute en conséquence l'origine animale car selon lui ces coquilles « germent d'elles-mêmes dans la boue, à mesure qu'elle se change en pierre, & qui grossit en même raison que se forme l'encroûtement pierreux, sans le secours d'aucun animal. [...] ces coquilles prennent insensiblement leur accroissement jusqu'au point où on voit les plus grandes » (ibid., pp. 146-147). Tout le fondement de son système est profondément **créationniste** c'est pourquoi il affirme préférer un autre miracle de la nature au miracle d'un déplacement des mers défendu par Réaumur ou Buffon

« Plus on réfléchit sur la merveille de cet encroûtement, formé de coquilles végétantes d'un principe qui se développe insensiblement, comme le germe d'une fleur, d'un arbre, plus on doit admirer la main de Dieu, qui dirige secrètement tous ses ouvrages & tous les ressorts de la Nature, dont la Toute-Puissance nous présente un beau spectacle à contempler dans cette découverte ». (La Sauvagère, 1776, p. 149).

C'est pourquoi le processus avancé par La Sauvagère est un processus occulte, immatériel « une végétation à l'instar des Plantes, par intus-susception » (ibid., p. 128). D'origine étymologique latine ce terme en 1664 fut composé d' « intus », signifiant en dedans, et de verbe « suceptio » signifiant l'action de prendre sur soi (Robert, 1984). **Le phénomène d'intussusception** était utilisé au XVIII^e siècle par les naturalistes pour expliquer la nutrition et la croissance des plantes ou des animaux à partir des matières nutritives étrangères absorbées à l'intérieur du corps. L'accroissement d'un corps se ferait par la réception d'un suc qui se répand dans tout l'intérieur du corps organisé. **Il s'oppose au phénomène de juxtaposition** qui consiste à l'apposition extérieure de nouvelle matière sur la surface d'une autre. C'est généralement ainsi que l'on considérait que se formaient les pierres et les coquilles (D'Alembert, 1751). La proposition de la Sauvagère est donc originale et pourrait s'apparenter à un suc pierreux qui circulerait à l'intérieur d'un germe de pierre grossissant. Nous retrouvons une idée analogue chez Bonnet (1720-1793), s'intéressant par exemple à la croissance des végétaux ou à la multiplication des pucerons ou des polypes –ou hydres d'eau douce-, qui termine sur une interrogation persistante « Concluons que nous ignorons encore par quels degrés la nature s'élève du minéral au végétal, et quel est le lien qui unit l'accroissement par apposition à l'accroissement par intussusception » (1762, t. V, p. 374)¹⁴². Nous verrons ultérieurement que les réflexions en minéralogie rejoignent ce questionnement sur la croissance des végétaux à propos de la croissance des minéraux. Les fossiles étant à l'interface entre le monde vivant et le monde minéral, rien d'étonnant à ce que la compréhension de la fossilisation soit empruntée à l'un ou l'autre des systèmes.

sortes de petrifications ; la Physique est sortie de l'enfance. Les Cornes d'Ammon ont été moulées, reste à sçavoir où. On a déjà reconnu qu'une ou deux especes l'ont été dans les coquilles de Nautile » (1722, p. 2).

¹⁴² Bonnet, C. (1762) *Considérations sur les corps organisés : où l'on traite de leur origine, de leur développement, de leur reproduction, &c..., & où l'on a rassemblé en abrégé tout ce que l'histoire naturelle offre de plus certain & de plus intéressant sur ce sujet*. Amsterdam : Marc-Michel Rey.

8. 1.3 Discussion où Guettard examine le système de La Sauvagère

Dans un de ses derniers ouvrages Guettard s'est proposé, en introduction du premier mémoire sur les corps marins fossiles, de mettre fin aux idées erronées persistantes de Voltaire, La Sauvagère et Raulin¹⁴³ en retournant contre ces derniers leurs propres arguments avancées (1783a, p. 11). Voyons les raisons de La Sauvagère qui ont retenu l'attention de Guettard et comment il les considère comme des preuves rétroactives contre le système même de La Sauvagère. Naturaliste de terrain ayant parcouru une bonne partie de la France et d'autres pays d'Europe, Guettard a toujours privilégié les faits d'observations et était très frileux vis-à-vis de tout système spéculatif « rien ne peut contribuer davantage à nous procurer une théorie physique & générale de la Terre, que des observations multipliées & faites sur différents terrains, & les fossiles qu'ils renferment » (1746, p. 363). Il a donc comme stratégie de reprendre point par point dans le texte de La Sauvagère, les différents arguments empiriques apportés par celui-ci et il va les exploiter à son encontre dans sa démonstration.

La localisation du site fossilifère et l'identité lithologique

Le premier argument considéré est la localisation du lieu-dit Des Places qu'il met en corrélation avec l'environnement géologique régional. Les falunières sont caractéristiques de la région et d'une très grande ampleur. Elles constituent un matériau de construction exploité depuis de nombreuses années par l'homme (d'où le suffixe -ière employé) et donc bien connu. La Sauvagère se réfère aux affleurements plus à l'est de la plaine de Sainte-Catherine-de-Fierbois et de Montalan D'après ces indications géographiques, **Guettard suppose l'identité lithologique des falunières avec les roches du Château des Places**, considérant l'étendue en superficie de la falunière et sa proximité ainsi que leur situation géographique identique, entre les deux rivières de la Loire et de la Vienne, « la piece d'eau dans laquelle les pierres & les coquilles végètent, comme des plantes, suivant M. de la Sauvagère, pourroit bien se trouver enclavé dans cette étendue de terrain » (1783a, p. 13). Sans doute aimerions-nous voir Guettard comme un précurseur du principe stratigraphique de continuité mais il n'aborde jamais le problème de l'âge de ces couches géologiques. Comme son prédécesseur Réaumur, sans doute, se représente-t-il les fossiles miocènes et les fossiles crétacés de Touraine,

¹⁴³ Raulin Joseph (1708-1784), est médecin ordinaire de Louis XV, censeur royal et inspecteur des eaux minérales. Il fut surtout renommé pour ses ouvrages en obstétrique et pédiatrie. Ses fonctions de médecin le portaient donc à se préoccuper des germes de nombreuses maladies (« pulmonie », « affections vaporeuses » des femmes, maladies contractées à l'accouchement, maladies occasionnées par les excès de chaleur, de froid et d'humidité, phthisie pulmonaire) et il s'intéressa même à la houille comme engrais agricole, plus proche des préoccupations de la Sauvagère et Guettard. Est-ce cet ouvrage auquel Guettard fait appel mais sans référence précise ? Nous n'avons pas entrepris la discussion de Guettard avec Raulin car nous avons pris connaissance trop tardivement du nom exact du second protagoniste difficilement déchiffrable dans notre enquête à partir du manuscrit initialement repéré de Guettard. Son intérêt porterait aussi sur le rappel de la controverse entre Camerarius et Woodward

appartenir à une même formation, unis par une sédimentation et une paléontologie apparemment homogène. La proximité géographique et la lithologie proche induisent la contemporanéité des roches. Cette conception peut être une réminiscence d'une **conception horizontaliste et simultanéiste de dépôts à la surface du globe après le Déluge**. Cette opinion quasi-universelle au XVIII^e siècle est en phase de rupture et commence à se fissurer avec la prise de conscience de la nécessité d'un temps long et d'une superposition des couches

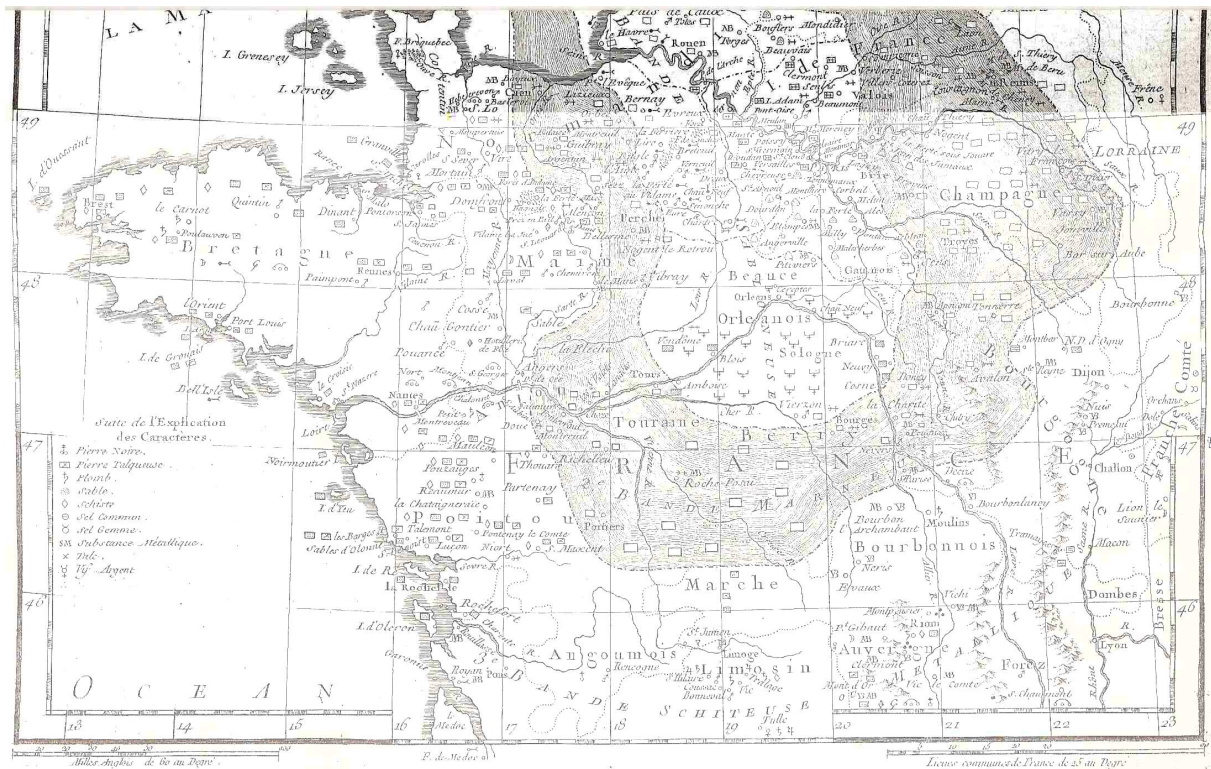
« On doit donc admettre, & à présent on n'en est pas effrayé, que la Mer a eu autrefois son lit dans des plaines éloignées de plus de trente-six lieues de ceux de ses bords qui en sont aujourd'hui les plus proches. Le déluge général fait passer sans peine là-dessus. Mais quoique la Mer eût séjourné bien plus long-temps que le Déluge ne le demande, nous ne devrions pas pour cela y trouver un banc de Coquillages de plus de vingt pieds d'épaisseur ; le lit de Mer n'est pas recouvert d'une pareille couche de Coquilles, souvent a-t-il à peine quelques Coquillages semés par ci par là. » (Réaumur, 1720, p. 411).

Ce qui permet d'envisager ainsi des phénomènes géologiques lents

« Toutes ses réflexions prouvent que quoiqu'il ait dû rester, & qu'il reste effectivement sur la Terre beaucoup de vestiges du Déluge universel rapporté par l'Ecriture Sainte, ce n'est point ce Déluge qui a produit l'amas des Coquilles de Touraine. [...] le Déluge ne les en auroit pas arrachées, & s'il l'avoit fait ç'auroit été avec une impétuosité & une violence qui n'auroit pas permis à toutes ces Coquilles d'avoir une même position. Elles ont dû être apportées & déposées doucement, lentement, & par conséquent en un tems beaucoup plus long qu'une année. » (Fontenelle, 1720).

Une révolution intellectuelle est en marche par rapport aux temps géologiques. Guettard comme Buffon (1749) admettait une immensité du temps. A la vision syncrétique et figée par la Bible de La Sauvagère s'oppose une **vision synthétique et distanciée des textes saints de Guettard**, qui apparemment ne fait jamais appel aux écritures bibliques dans ses très nombreux mémoires des sciences et des arts. Dès 1746 il envisageait une répartition uniforme des terrains géologiques déjà dans sa première proposition de carte minéralogique. Elaborée en collaboration avec Philippe Buache, académicien géographe, il avait effectué différentes minutes cartographiques à partir des affleurements qu'il avait parcourus. Et ils avaient réuni les terrains affleurant en **bandes géologiques homogènes** (Guettard, 1746, p. 392, pl. 32).

Iconographie N°4 : Explication des caractères de la carte minéralogique et carte minéralogique des terrains de la la France et de l'Angleterre par Philippe Buache et Jean-Étienne Guettard -1746.



Contrairement à l'école d'Europe centrale qui envisageait une succession d'unités lithologiques verticales¹⁴⁴ dépendantes d'un âge de formation, Guettard s'obstinait à considérer uniquement une zonation horizontale, détachée de toute spéculation historique (Ellenberger, 1994, p. 219). Il avait déterminé parmi les trois bandes interprétées concentriques, une seconde bande "marneuse" à laquelle appartient la Touraine, plus particulièrement le pays du Véron à la confluence de la Loire et de la Vienne facilement identifiable sur la carte. Voici comment il les différencie

« ... les pays qui sont renfermés dans la troisième bande, sont remplis de tous les métaux ; que les pierres qui s'y trouvent sont des schistes, des ardoises, des espèces de granites, des pierres talqueuses, des marbres, des pierres noires, des pierres précieuses & des cailloux transparents ; que celle de la seconde bande sont totalement différentes, ces pierres ne sont, pour ainsi dire, que de la marne durcie, & la marne elle-même y est des plus commune ; de tous les métaux il n'y a que le fer qui s'y rencontre ; la première est abondante en grès, en pierre à chaux proprement dite, en gravier, en pierre à fusil, & il n'y a aussi que des mines de fer. » (Guettard, 1746, p. 367).

En comparant avec la carte géologique actuelle, globalement nous retrouvons respectivement les terrains métamorphiques et magmatiques du primaire, les terrains marno-calcaires du secondaire puis les terrains sableux du tertiaire. Il avait corrélié que la bande intermédiaire "marneuse" pouvait être riche en fossiles dits accidentels de même que la première bande centrale nommée "sableuse". Des critères communs lithologiques, métallurgiques et paléontologiques tentent d'être associés pour définir une même bande. En corrélation avec ce principe, il eut un projet d'envergure en 1776 : cartographier géologiquement toute la France et l'Europe (Guettard & Monnet, 1780). Rien d'étonnant alors à ce qu'il associe comme semblables des roches distantes seulement d'une quarantaine de kilomètres entre Montalan et le lieu-dit Des Places. En 1746 il n'avait pas parcouru le pays du Véron mais les pays des rives droites de la Loire et du Cher et de la rive gauche de la Vienne pour la région de Touraine. Il avait légendé de nombreux affleurements notés sur sa carte "pierre blanche" et il subdivisait la bande marneuse en marne durcie pour la Touraine et le Berry, et en marne molle pour la Bourgogne. Aiguillé par la curiosité et la recherche de vérité, il s'y était peut-être rendu depuis. Admettant une variété infinie au sein de l'uniformité proposée des trois bandes, Guettard présente son principe géologique comme une conjecture.

¹⁴⁴ En France, c'est Lavoisier qui franchit ce pas en 1767, en effectuant une coupe synthétique très précise du stratotype d'Étampes à partir des descriptions détaillées que fit Guettard en 1753-54 du sous-sol de son pays natal (Ellenberger, 1989, p. 18). La communication de Lavoisier est effectivement géniale, comme le souligne Ellenberger. En effet, Lavoisier dépasse la vision, plane et anhistorique de Guettard, pour une vision historique des dépôts, littoraux et pélagiens. Il confortera cette idée, ultérieurement, dans une coupe stratigraphique du bassin de Paris. Il préfigure le concept de stratotype qui ne verra le jour dans la communauté scientifique, qu'au siècle suivant. Ce fut Alcide d'Orbigny qui établit les divisions géologiques avec ses notions d'étages et de fossiles caractéristiques en 1842 (Taquet, 2002).

Lavoisier, A. L. (1789/an II). Observations générales, sur les couches modernes horizontales, qui ont été déposées par la mer, et sur les conséquences qu'on peut tirer de leurs dispositions, relativement à l'ancienneté du globe terrestre, *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 351-371 & pl. I-VII.

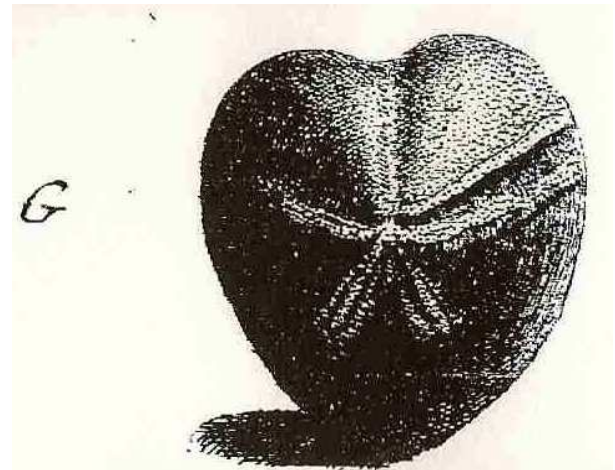
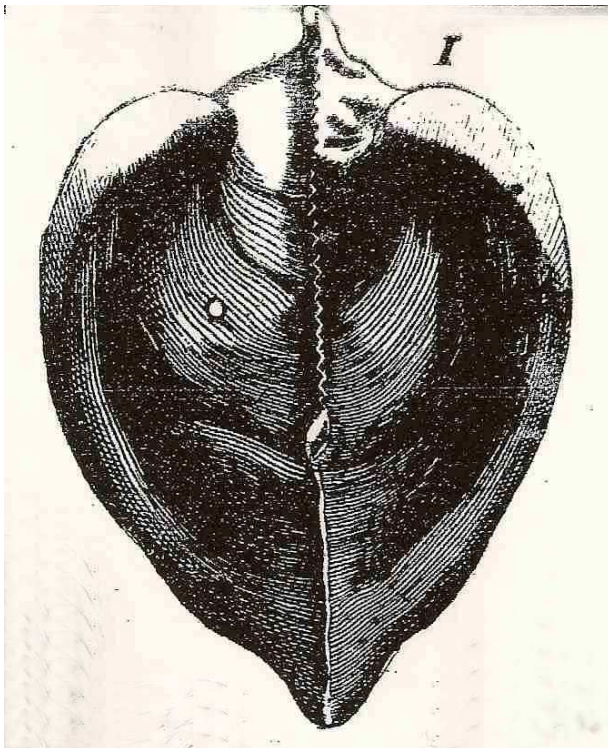
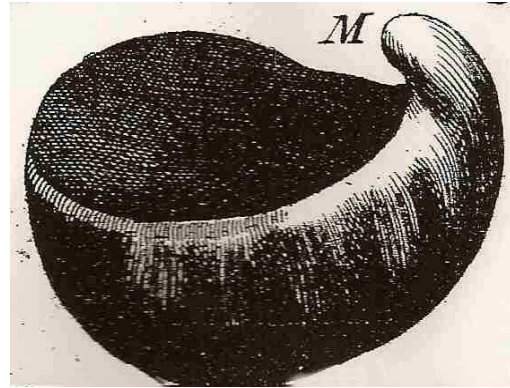
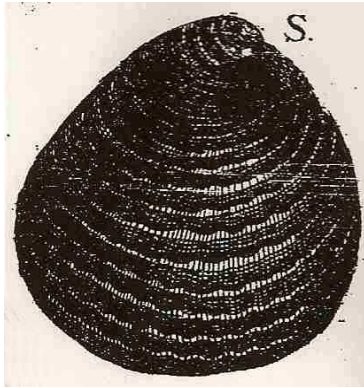
La diversité des fossiles décrits et l'identité paléontologique, problème d'une identité relative

Guettard convoque en second argument la similitude des objets entre la pièce d'eau du château Des Places et la falunière « Cette vérité se démontre par l'identité des objets qui se trouvent dans la pièce d'eau, & ceux dont est composée la falunière » (Guettard, 1783a, p. 13). Il rappelle l'abondance de certains bivalves comme les "ostracites griphites", les "comes", les tellines, les moules et les "poulettes". La démonstration de Guettard s'attarde donc essentiellement sur la ressemblance des coquilles. Et **toutes ces coquilles bivalves, qu'elles soient fossiles ou actuelles, sont réunies et décrites** essentiellement par rapport à la forme des valves et portent souvent des noms vernaculaires imagés. De plus certaines descriptions faites par La Sauvagère sont encore imprégnées de merveilleux, associé à de nombreux noms donnés aux fossiles avant que leur origine vivante soit assurée : ainsi les "gryphites" ou gryphées sont des « sortes d'huitres dont le bec est recourbé sur le coté de la charnière, semblable aux ongles d'un griffon¹⁴⁵ » (La Sauvagère, 1776, p. 147).

¹⁴⁵ Griffon : Oiseau de proie qui ressemble à l'aigle. Les Anciens ont fait une représentation fabuleuse de cet animal, avec quatre pieds, deux ailes & un bec, le faisant ressembler à l'aigle par le haut, & au dragon par la croupe et les jambes. Il supposait que c'était le gardien des mines d'or & des trésors cachés, p. 345, Collectif, 1763.

Iconographie N° 5 : **Différents fossiles de la pièce d'eau, retenus par Guettard et expliqués par La Sauvagère (1776, pp. 160-171)**

Dessine d'après nature et Gravé par Decaché.



S : came de couleur jaune-rouge [...] garni de stries circulaires, profondes tranchantes & saillantes

I : cœur de bœuf, [...] dont les deux becs se contournent d'une façon singulière

M : gryphites [...] est toujours homogène à la matière de la pierre de Tuffeau dont elle est remplie

G : chinite, hérisson, chataigne de mer [...] en forme de coeur à quatre rayons, enjolivés de petits tubercules & et de points en chaque bande

Tous les fossiles sont dessinés d'après nature, échelle 1

Contrairement aux gryphées, les bivalves nommés "comes"¹⁴⁶ ont la particularité d'avoir les deux valves égales et aussi de tenir leurs valves béantes ou entrouvertes plus longtemps. Leur nom commun est la palourde et plusieurs espèces vivent sur nos côtes françaises (Herbigny, 1775, Tome 1, p. 162). Il parle aussi de "cœurs"¹⁴⁷ très fréquents dans la région. Ce sont des coquillages dont les deux valves réunies représentent un cœur soit par le bombement accentué des valves soit par la figure des leurs crochets. Certains sont nommés "conque de Vénus ou came-cœur". Ils peuvent atteindre une grande taille comme par exemple le moule interne dessiné ci-dessous qui évoque les deux ventricules d'un « cœur de bœuf » appelé aussi boucarde (ibid., p. 229). Les tellines, non dessinées, sont des bivalves à forme large et écrasée, dentelée sur les pourtours comme une scie, ont des jolies couleurs, chamarrées, blanc, rose, violet ou orangée. Il existe encore actuellement des espèces maritimes et fluviatiles dans les embouchures des fleuves. Quant aux poulettes, les conchyliologistes utilisaient diverses dénominations vernaculaires "poule, coq et poule" ou des dénominations scientifiques tel "anomie". Ils désignaient par ce genre des bivalves dont les valves sont inégales et dont « le sommet de la valve inférieure qui est plus ou moins recourbé sur la valve supérieure, est percé d'un petit trou comme si on l'avait perforé » (Herbigny, 1775, Tome 1, p. 29 & Tome 2, p. 201)¹⁴⁸. Ce sont en fait les fossiles du groupe des brachiopodes nommés térébratules aujourd'hui, et non des mollusques bivalves dont le plan de symétrie est différent. Méthodiquement Guettard veut apporter une **réfutation au système de La Sauvagère par la variété et l'identité des coquilles fossiles entre la falunière et l'étang Des Places**, que ce dernier a dessinées ou nommées « M. de La Sauvagère trouve dans son étang des coquilles semblables à celles des falunières et des montagnes de son pays. » (Guettard, 1783a, p. 15). Pourtant Guettard n'exprime pas aussi clairement que l'apothicaire Féret (1698 ?-1759) l'appartenance à une même strate. Ainsi, s'exprime Féret, précurseur d'un demi-siècle de De Luc, « De là je conclus par la comparaison des fossiles de tous ces différents lieux [Courtagnon, Villarseau, Garenne des Boves, Chaumont, Magny, Grignon, Beauvaisis], qu'ils sont et composent le même banc » (Bignot, 1995, p. 61).

¹⁴⁶ D'après l'ouvrage de conchyliologie de Dezallier d'Argenville « Le caractère générique des Comes est d'être d'une figure approchante de la ronde & convexe dans ses deux Ecailles presque égales, quelque fois la bouche un peu béante » (1752, p. 371). Il les différencie des Moules « coquilles longues et terminées en pointes » ou des Peignes « cannelés du haut en bas avec des oreilles ou pas ». Cf aussi, les planches XLVI-XLVIII de l'édition de 1780).

¹⁴⁷ Dans le même ouvrage de 1780, Tome 1, p. XXXII « Cœurs (corda) nom donné à une famille de Bivalves, par rapport à la figure des Coquilles qui la composent ». Cf planches LI-LIII.

¹⁴⁸ Les trois éditions (1742/1757/1780) de l'ouvrage de conchyliologie de Dezallier d'Argenville peuvent aussi être croisées avec cette bibliographie car elles offrent de belles planches d'illustrations d'une grande variété des coquilles actuelles et fossiles ainsi qu'un lexique précis des dénominations employées au XVIII^e siècle. Il différencie parmi les coquilles fossiles, celles des Univalves (équivalent des coquilles enroulées de Gastéropodes et des Céphalopodes Ammonoïdés et nautiloïdés), celles des Bivalves (terminologie encore usitée pour les Lamellibranches) et celles des Multivalves (tests d'Echinodermes-oursins-, plaques de Crustacés-balanes et coquilles de Lamellibranches -pholades (1757, pp. 348-351 ou 1780 pl. LXVI-LXVII). Nous pouvons comprendre cette dernière terminologie centrée sur les pièces multiples composant l'animal fossilisé, sauf pour les pholades)

Par contre cette **similitude est discutée pour les coquilles fossiles et les coquilles marines actuelles**. Cette dissemblance sera avancée par La Sauvagère pour nier leur origine marine et animale. Guettard le contre, premièrement, en lui signalant que la seule différence mineure tient dans la couleur liée au temps d'émersion à l'air ou au séjour dans la terre « comme celles qui sont actuellement fossiles, peuvent les avoir perdues dans les temps les plus reculés, lorsqu'elles ont été rejetés sur les plages » (Guettard, 1783a, p. 22). Deuxièmement il lui renvoie le fait de n'envisager que les coquilles fossiles. Or la rigueur amène à la prise en compte globale de tous les fossiles, ce que nous appellerions aujourd'hui une taphocénose ou une thanatocénose car Guettard ne précise pas s'il les considère avoir vécu ensemble. Comme les autres fossiles associés sont indiscutablement des vertèbres, des mâchoires et des **dents de poissons marins, les coquilles mêlées** sont elles aussi des anciens organismes vivants marins, Guettard avance donc cette déduction en précurseur d'une logique de paléo-environnement. De plus la référence plus spécifiquement à ses fossiles de dents de requins n'est pas anodine. En effet tout de suite après il lance dans sa discussion une pique à « quelque Poète qui n'effleure que les matières, à quelque Médecin qui n'a pas le temps de les approfondir, ou à de ces prétendus philosophes », autrement dit Voltaire et Raulin, deux défenseurs du « philosophe » La Sauvagère (ibid., p. 23). Or ces fossiles ont été l'objet de nombreuses discussions en France comme en Angleterre et Guettard avait pris la peine de faire une synthèse monographique à ce sujet (Guettard, 1786c). Voltaire sur les glossopètres (Voltaire, 1704-1778/1977-1993, Tome 7, pp. 733-734), comme Raulin sur les coquilles se trompent. Guettard renvoie aux écrits d'un naturaliste anglais (Woodward, 1735, p. 243 et suivantes) qui avait dû défaire le système erroné d'un adversaire, le médecin Camerarius comme il va devoir défaire lui aussi le système de Raulin. Les dictionnaires de l'époque rendent compte aussi de ces controverses redondantes

« Nom qu'on a donné improprement par une suite d'erreurs populaires, à des dents pétrifiées ou fossiles, & qu'on croyoit être des langues de divers animaux ou serpens, changées en pierre. Les glossopètres, qu'on devoit nommer odontopètres ou ichthyodontes, sont des dents de plusieurs poissons marins. [...] Les moins grandes, qui sont triangulaires ou en faulx, sont crenelées par les angles, avec une base fourchue : elles sont reconnues pour les dents de la mâchoire du requin ; les pointues, qui ressemblent aux dents de chien, sont reconnues pour celles de la mâchoire inférieure du même animal. [...]. Cette multitude fatigante & inutile de différens noms barbares, ne sert qu'à embrouiller l'étude de l'Histoire naturelle ; c'est pourquoi nous les épargnerons au lecteur. » (Valmont de Bomare, tome V, 1768-1769, pp. 145-147).

Les glossopètres ont été identifiés par une démonstration de Fabio Colonna en 1616 et une confirmation de Nicolas Sténon en 1667, comme étant des restes d'êtres vivants, des dents de requins (Ellenberger, 1988, tome 1, p 191-192).

Sûr de cette origine organique des glossopètres comme des coquilles fossiles Guettard va s'insurger contre ce modèle explicatif de végétation pierreuse « car vouloir rétablir la naissance spontanée des corps, c'est vouloir faire revivre un système absurde, mille fois renversé par les observations les plus exactes & les plus suivies. Il vaudroit autant, en pensant autrement, vouloir nous persuader que les choux végétent sous les eaux, & les coquilles dans

les potagers » (Guettard, 1783a, p. 18). Il va de ce fait reprendre successivement les quatre exemples donnés par La Sauvagère pour les démontrer : les coquilles de la vase de son étang, celles dans la terre d'un pot de fleur envasé, une branche d'arbre tombée aussi dans son étang et enrobée de coquilles, et enfin les coquilles des montagnes similaires à celles de son étang. Et Guettard s'étonne que des observations aussi simples, tellement évidentes n'aient pas suffi à faire comprendre leur processus de formation « Comment est-ce que de tels aveux de la part de Monsieur de La Sauvagère ne luy ont pas ouvert les yeux. De qu'elle force ne sont donc pas les préjugés, et ou ne nous entraine pas une opinion mal conçue ? » (ibid., p. 15).

A l'échelle locale, le système explicatif de Guettard, la pétrification par les sources minéralisantes

Pour la première étude de cas, **les coquilles de la vase de son étang** que La Sauvagère voit grandir petit à petit, Guettard lui rétorque ses différentes observations, la localisation de l'étang au pied d'une butte, la proximité des falunières, le lessivage de ces terrains en cas de fortes pluies, l'encroûtement -expression même de la Sauvagère- constaté lors des curetages de l'étang ou en période de sécheresse. Ces mêmes arguments empiriques amènent tout naturellement Guettard à un dépôt encroûtant lié aux eaux chargées de matériaux « M. de La Sauvagère n'imagine pas que les coquilles, qu'il trouve dans son étang, sont de celles que les eaux entraînent en lavant la terre, & il va s'imaginer que ces coquilles végètent dans cet étang, comme des légumes dans son potager » (ibid.). Et, il met bien en contraste, dans sa syntaxe suivante, "une prétendue végétation pierreuse" et une "intussuception" avec un "encroûtement", un "depost", ou une "incrustation". Il continue de se moquer en caricaturant le raisonnement de La Sauvagère pour le second exemple, **la terre du pot de fleur**

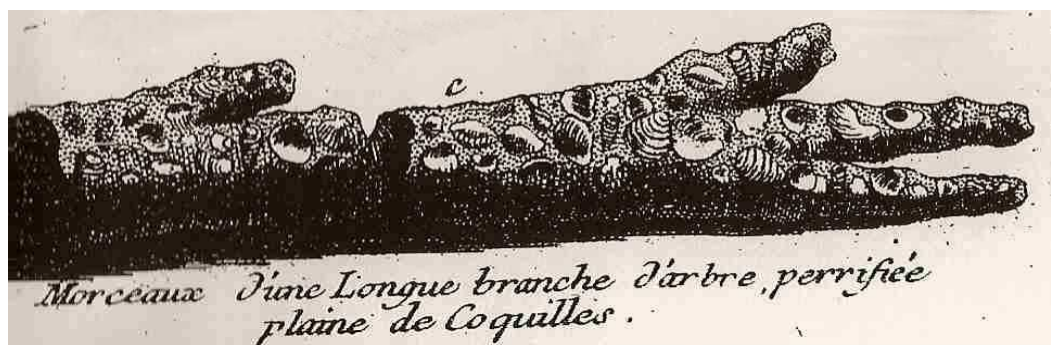
« Il est tombé un pot à fleurs dans la pièce d'eau de M. de la Sauvagère. Au bout d'un certain temps ce pot est incrusté de matière calcaire ; & suivant M. de la Sauvagère il faut faire végéter les pierres, comme les légumes de son potager pour expliquer ce fait. [...] Il est étonnant que M. de La Sauvagère n'ait pas avancé que son pot à fleurs avoit végété dans son étang » (Guettard, 1783a; p. 16).

Et il objecte à la végétation des pierres une pétrification. Il préfère donc, faire appel plutôt à « un sentiment naturel » ou des « principes aussi simples » liés à l'observation de nombreux dépôts dans les bassins et les fontaines des jardins de la région parisienne ou d'Italie. Quels que soient les éléments retrouvés, incrustés, un artichaut, une fleur, un pot de fleur, une coquille marine ou dulcicole comme les moules « entièrement ensevelis sous une incrustation pierreuse » dans les bassins de Saint-Cloud écurés, ils sont tous issus d'une sédimentation actuelle encroûtante de nombreuses fontaines pétrifiantes par « un dépôt, comme il s'en fait dans mille endroits par des fontaines, des chutes d'eau, des cascades dont l'eau est chargée d'une matière qui se dépose peu à peu & donne ainsi naissance à des masses pierreuses plus ou moins considérables » (Guettard, ibid., p. 16). **Le phénomène de pétrification, observé et généralisé, est bien différent de l'intussuception supposée** par La Sauvagère. Guettard

s'était largement questionné sur les matières pétrifiantes et l'action de l'eau pour le changement de nature des coraux. Il parlait de « fossiles métamorphosés » dans les pierres calcaires (Guettard, 1770). Pour la seconde étude de cas, **la branche d'arbre**, il ne déroge pas à la règle de la pétrification par encroûtement mais il revient en plus sur l'origine vivante des coquilles pétrifiées- ce développement conséquent est la différence majeure avec le manuscrit (Guettard, n.d. post. 1776). Pareillement, il va réutiliser les arguments offerts par La Sauvagère en les retournant contre son système de végétation des coquilles fossiles, des petites coquilles attachées à la branche et épousant la forme des rameaux. Il se réfère aux coquillages actuels, d'une part nombreux peuplant les étangs –buccins, comes, tellines, moules- et d'autre part certains adhérant à leur support telles les huîtres. Guettard avance comme preuve que tous ces coquillages très jeunes, à l'éclosion¹⁴⁹, ont des valves molles qui ont pu s'attacher facilement à ce support, piégées par la pression du dépôt encroûtant car peu de coquillages s'attachent directement par les valves. En supposant l'entêtement de son protagoniste par l'assurance de son système et par sa mauvaise foi, Guettard ridiculise La Sauvagère «qui pourroit dire que ces coquilles végétant dans son bassin, comme des choux dans son verger, elles sont molles en se formant, & qu'ainsi elles se collent sur les branches d'arbres tombées dans son étang » et il soutient en conclusion que « ces coquilles sont des coquilles d'eau douce qui ont vécu dans cet étang » (Guettard, 1776, vol. 4, p. 18). Mais il raisonne là encore avec la biologie actuelle des coquilles alors que le dessin de cette branche pétrifiée (La Sauvagère, 1776, p. 171, pl.V) présente des coquillages, tels le genre porcelaine reconnaissable et des bivalves à côtes marquées, donc marins et par conséquent, plus anciens.

Iconographie N°6 : **Branche d'arbre, pétrifiée couverte de coquilles - La Sauvagère, 1776**

Dessiné d'après nature et Gravé par Decaché.



¹⁴⁹ A l'éclosion, les mollusques donnent naissance à une larve appelée trochophore –caractérisée par une couronne ciliaire- qui évoluera en une larve véligère développant la coquille

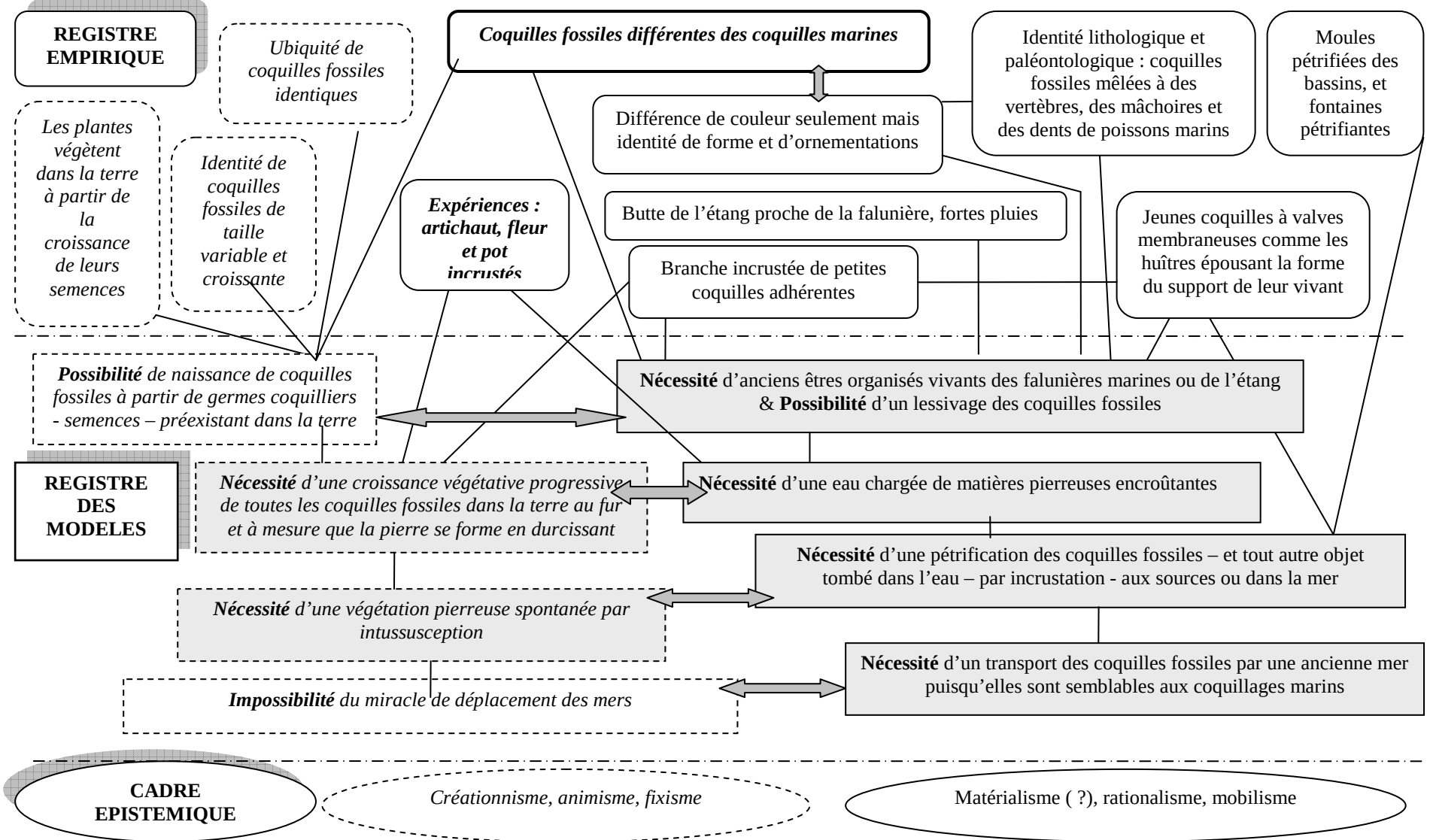
C'est pourquoi dans la dernière version de ce texte Guettard a ressenti le besoin de compléter en stipulant que si les coquilles sont reconnues comme marines c'est qu'elles sont fossiles, entendons par là, qu'elles ont été apportées par une ancienne mer.

Nous pouvons terminer cette analyse en remarquant que **la méthodologie scientifique est soutenue par une rhétorique ironique du savant Guettard contre La Sauvagère.** Combien Guettard semble s'être amusé à démonter le système absurde de La Sauvagère en parsemant sa démonstration scientifique de nombreuses pointes d'ironie et de dérision. Il se moque ouvertement de La Sauvagère en forçant l'analogie d'une végétation des pierres et des coquilles fossiles avec les plantes –légume, chou, potager, verger-. Ce genre de rhétorique fait aussi souvent partie du jeu stratégique des débats.

L'espace de contraintes et de possibles résultant de cet échange argumenté entre les systèmes explicatifs de Guettard et de La Sauvagère : vers une étude élargie à l'échelle globale, le problème des coquilles fossiles à l'intérieur des montagnes

Les arguments du registre empirique sont globalement communs à Guettard et la Sauvagère d'où les nombreux entrecroisements des liens entre ces différents éléments pétrifiés naturels ou artificiels et les idées explicatives de la présence des coquilles dans la terre. De plus la localisation géographique et l'identité paléontologique sont réinvesties pour une identité lithologique et un lessivage possible des coquilles de la falunière. Quant à la référence aux vivants actuels elle est complètement différente. La Sauvagère établit une analogie avec les plantes et leurs semences croissant dans la terre, alors que **Guettard a un registre empirique beaucoup plus développé** principalement sur la connaissance précise du cycle de vie de certains bivalves actuels et il prend appui sur une plus grande diversité des êtres vivants fossiles et actuels dans d'autres régions. Son registre élargi lui permet de redémontrer l'origine vivante des coquilles pétrifiées, qui est le fondement de tout raisonnement de la plupart des naturalistes au XVIII^e siècle, en rupture conceptuelle avec le siècle précédent.

Schéma N°19 : **ESPACE DE CONTRAINTES ET DE POSSIBLES**, controverse entre *La Sauvagère* et Guettard sur la nature des coquilles fossiles (1783)



Et Guettard met donc en tension l'idée de croissance de germes coquilliers par intussusception avec l'incrustation des coquilles dans les eaux pétrifiantes. Le modèle explicatif de Guettard reste essentiellement historique puisqu'il s'appuie longuement sur les fontaines pétrifiantes d'Italie ou de France et les écurages des bassins des jardins. Les expériences menées de placer quelque objet –un artichaut, une fleur, une coquille marine, etc.- dans une de ces eaux aboutissent au résultat commun d'une pétrification par encroûtement. Et si un élément naturel vivant dans ces eaux- coquilles, plantes aquatiques- ou si un élément naturel ou artificiel tombant dans ces eaux –pot de fleur, branche d'arbre-, le résultat observé de pétrification est identique. L'observation devrait toujours être valorisée pour valider un processus naturel et pour « suivre les opérations qui se passent sous nos yeux, & à les voir avec des yeux aussi simples que la Nature même » (Guettard, 1783a, p. 16) mais sans que ces observations soient parasitées par la « force des préjugés », autrement dit un modèle explicatif ou un cadre épistémique erroné.

De plus Guettard interpelle La Sauvagère sur sa **confusion entre les germes et les jeux de la nature** (Guettard, 1783a, p. 18-19). Or La Sauvagère relie ces deux modèles explicatifs : les coquilles fossiles issues de germes ne seraient en fin de compte qu'un jeu de la nature comme les pierres arborisées telles, les « dendrites », les « zoomorphites » et les « domatistes ». Les zoomorphites comme les phytomorphites ou les domatistes désignaient des pierres dans lesquelles des figures d'animaux ou de végétaux ou de maisons étaient reconnues. Le terme de dendrite plus général, encore usité aujourd'hui, englobait même les pierres où certains reconnaissaient même des paysages, voire des visages humains. Guettard se moque de cette idée absurde de La Sauvagère –et de bien d'autres savants ou publics crédules- comme si « la nature s'exerce en petit à faire sans doute des arbres, des animaux, des maisons » (Guettard, 1783a, p. 23). Il développera même un mémoire spécifique sur ces préjugés (Guettard, 1786b, p. 503). L'importance du point de vue scientifique c'est qu'il est nécessaire de savoir différencier les jeux de la nature, soumis au hasard, et les germes, liés à des lois de la nature. Guettard affirme vigoureusement son incrédulité devant ce système explicatif de végétation des pierres et des coquilles, il propose une explication alternative beaucoup plus raisonnable à ses yeux pour contrer La Sauvagère.

Enfin Guettard relativise la différence affirmée par La Sauvagère entre **les coquilles fossiles intégrées dans les roches des montagnes éloignées des mers et les coquilles marines actuelles**, cette comparaison lui posant problème. Et à ce propos Guettard s'insurge contre la prétention de La Sauvagère qui malmène « la grande quantité de Sçavants ou croyants l'être », selon lui, en leur attribuant des idées fausses. Car un des arguments de La Sauvagère pour défendre la végétation des coquilles est la simplicité de son système in situ. Il veut l'opposer au système sophistiqué des naturalistes, les canaux souterrains par lesquels les coquilles sorties de la mer auraient voyagé dans les profondeurs de la terre

« On prétend que les coquilles fossiles sont sorties, après avoir quitté les bas fond où elles habitent, pour s'introduire dans les entrailles de la terre les plus profondes, & dans les rochers les plus élevés & dont

on trouve les semblables dans les carrières de Chinon, à plus de trois cent pieds au dessus du niveau de la mer » (La Sauvagère, 1776, p. 143).

Ce qui donne lieu à une autre **controverse entre les systèmes explicatifs des coquilles voyageuses et d'une régression marine**. Guettard récuse cet argument puisque cette idée de cheminement des coquilles marines est abandonnée par les naturalistes et il résume comme suit la pensée actuelle expliquant la présence de coquilles loin des mers à l'intérieur des roches constituant les montagnes

« On a bien dit que les coquilles fossiles avoient été déposées par la mer, que ces coquilles avoient été ensevelies dans différentes matières également déposées par cet élément, & que les montagnes s'étoient ainsi élevées peu à peu, & que ces pierres s'étoient formées de ces différents dépôts. Ce qui a fait raisonner ainsi, c'est qu'on a trouvé dans les montagnes glaiseuses des coquilles renfermées dans ces glaises, c'est qu'on a trouvé dans les montagnes calcaires différents lits de coquilles & des rochers qui n'étoient presque composés que de fragments de coquilles brisées. On a bien affirmé ces faits, mais on n'a jamais fait cheminer les coquilles, comme le fait M. de La Sauvagère, à moins que ce ne soit ceux qui prétendoient que le globe de la terre étoit percé de grands canaux souterrains au moyen desquels l'eau de la mer pénétroit jusqu'au sommet des montagnes pour y former des fontaines. Mais ce vieux système hydraulique est depuis long-temps tombé en oubli, par la fausseté qui a été démontrée. » (Guettard, 1783a, p. 20).

Guettard peut faire référence, ici, à une conception neptunienne antique de formation de la terre (Gohau, 1990b, p. 33) qui intégrait l'existence de canaux souterrains permettant à la mer, voire aux coquilles, de remonter les terres. Le problème, différent à l'époque, était de comprendre comment il est possible que le niveau de la mer reste stable alors que les eaux des fleuves alimentent la mer en permanence. Cette théorie, soutenue dès l'antiquité par Pliny l'Ancien, eut cours jusqu'au XVII^e siècle avec l'assentiment de Sténon (Gohau, 1990b, p. 112) et Descartes, sur lequel J.-B. Du Hamel s'appuyait (1660, Chap. 6, Annexe 12). Elle fut contrecarrée à la même époque par Perrault¹⁵⁰ qui a effectué une démonstration quantitative à partir des eaux de ruissellement expliquant l'origine des sources (Gohau, 1990a). En effet pour la communauté de naturalistes du XVIII^e siècle, la problématique s'est déplacée depuis. Une fois acceptée l'origine incontestable des fossiles à partir d'anciens êtres vivants, le problème central reste de comprendre leur localisation ubiquiste même dans les plus hautes montagnes. Guettard révoque l'interprétation du « cheminement des coquilles » par des canaux qui auraient porté les coquilles dans les hauteurs tout comme il récuse aussi l'hypothèse des « vents impétueux ». Il ne comprend pas comment La Sauvagère, pour expliquer les amas de coquilles en surface, préfère avoir recours aux vents plutôt qu'aux courants marins proposés par Réaumur (1720). Il ne comprend pas non plus comment La Sauvagère, pour expliquer l'insertion des coquilles dans les roches montagneuses, préfère avoir recours à la végétation spontanée pierreuse plutôt qu'aux dépôts marins formant des lits de roches observées dans les montagnes du Languedoc (Sauvages, 1746-47) ou des Alpes (Gohau, 1990b, pp. 237-260)¹⁵¹. Mais si la succession des couches est évoquée par Guettard

¹⁵⁰ Perrault, P. (1674). *De l'origine des fontaines*. Paris : Pierre le Petit.

¹⁵¹ Guettard fait peut-être référence aux deux auteurs suivants analysés par G. Gohau :

puisque'il parle de « différents lits de coquilles », la cause des dépôts successifs est liée à un courant marin unique et non à plusieurs transgressions marines. Dans ce sens Guettard va même jusqu'à extrapoler une mer sur toute la Terre

«Pourquoi encore la mer n'auroit-elle pas couvert toute la France, l'Angleterre, toute l'Europe & même toute la surface du globe ? Est-ce que cela ne se peut pas, parce que M. de La Sauvagère veut que les coquilles fossiles naissent spontanément ? Mais les preuves que M. de La Sauvagère apporte de son opinion ne sont pas convaincantes » (Guettard, 1783a, p. 22).

Pour une fois Guettard laisse libre cours à la théorie et l'imagination en s'attaquant à la pensée fixiste et spontanéiste de La Sauvagère, vraiment déraisonnable selon lui, sur la prétendue végétation des fossiles. En conclusion, si nous nous référons à la méthode actuelle de parcimonie privilégiée dans toute rationalité scientifique, et que nous comparons les deux théories mises en opposition –celle de La Sauvagère et celle de Guettard-, quelle est celle qui convoquera un plus petit nombre d'hypothèses événementielles (Lecointre & Le Guyader, 2001, pp. 27-30) ? La simplicité du système de la Sauvagère est toute relative car trois nécessités sont mobilisées, germes de coquilles disséminées partout dans la terre, croissance et intussusception (Schéma N°19). Mais ces phénomènes tendent vers l'immatériel et donc s'éloignent d'une pensée scientifique. Par contre le système rappelé par Guettard de pétrification en eau dulcicole est encore plus simple. Deux nécessités peuvent suffire pour la roche de l'étang des Places : nécessité d'anciennes coquilles vivantes dans l'étang et nécessité d'une eau chargée de matières pétrifiantes pour les enrober dans une vase. Quant au système de pétrification marine il implique une nécessité supplémentaire, la présence d'une ancienne mer, indubitable au vu de l'analogie avec les coquillages marins actuels. Guettard préfère s'arrêter à ce niveau de validation dans son raisonnement car sa posture épistémologique l'y contraint.

8. 1.4 Le cadre épistémique de Guettard en opposition à celui de La Sauvagère, les rapports complexes entre science et religion

Même si Guettard est très croyant, dans son rapport aux sciences, il ne veut pas s'aventurer dans des élucubrations quelles soient mystiques ou théoriques sur la genèse des coquilles fossiles. Aux causes immatérielles fréquentes et successives de La Sauvagère s'opposeront des causes matérielles recherchées par Guettard.

De Luc, J.-A. (1778). *Lettres physiques et morales sur les montagnes et sur l'histoire de la terre et de l'homme*. La Haye : Detune ; Saussure, H.-B. de. (1779-1796). *Voyages dans les Alpes, précédés d'un Essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève*. Neuchâtel : Borel.

Le cadre épistémique de La Sauvagère

Dans son *Discours préliminaire* relativement long, *La Sauvagère* (1776, pp. xviii-xxvj) rappelle tous les systèmes imaginés dont il a pris connaissance et qui tentent d'expliquer la présence de coquilles fossiles à l'intérieur des terres : une puissance générative de coquilles imitées par des jeux de hasard (Lister), une inversion des terres et des mers (Aristote), une pesanteur différencielle associée au déluge (Woodward), des abysses marins associés aux séismes (Burnet), une origine marine d'un ancien golfe retiré (Réaumur). Cette dernière hypothèse, il la qualifie d'« axiome de M. le Comte de Buffon » car est celle admise, sans conteste, par la communauté savante française à laquelle appartient Guettard. Par opposition *La Sauvagère* veut simplement rapporter « un récit pur & simple » fondée sur l'observation « d'une merveille qui s'opère dans un étang [...], où les coquilles se forment d'elles-mêmes, & qui croissent tous les jours » (*La Sauvagère*, 1776, p. xxvii). Il dit ne pas pouvoir l'associer à aucun des systèmes précités, alors que plus loin il amalgame les germes coquilleux aux jeux de hasard. Le merveilleux et le hasard sont convoqués comme entités immatérielles dont la cause est la main du Créateur. A de nombreuses reprises il se réfère aux textes bibliques pour poser le cadre de ses réflexions. Le niveau de la mer a été prescrit par Dieu au moment de la création et les rivages côtiers resteront éternellement inchangés « La partie de notre globe destinée à cet immense réservoir des eaux de la mer, n'a jamais eu d'autres bornes, & n'en aura jamais d'autres ; c'est ce que je trouve écrit dans les Livres Saints [...] les digues que le Créateur a imposées à la Terre » (*ibid.*, p. xxxiv et p. xxxix). Il qualifie de « surnaturel » tous les autres systèmes matérialistes auxquels il s'oppose, alors que c'est lui qui mobilise le miracle originel des germes de coquilles qu'il qualifie de simple (*ibid.*, p. xli)! Sa contrainte principale est de raisonner dans un cadre éternel répondant à « ces loix sur les bornes imposées aux eaux lors de la création, & tous les autres systèmes, ne sont que des jeux d'esprit » (*ibid.*, p. xxxvj). En conséquence il est impossible à *La Sauvagère* d'admettre une origine organique des coquilles fossiles d'autant plus que certaines coquilles n'ont pas leur équivalent dans les coquilles vivantes actuelles « les Coquilles de la falunière de Touraine ne peuvent être des dépôts provenans du rivage de la mer, quand même ces Coquilles seroient toutes les mêmes que celles de ses côtes ; mais on a vu qu'elles sont pour la plûpart d'une espèce différente » (*ibid.*, p. xxxvii). Dans un cadre épistémique, indubitablement créationniste et fixiste, les jeux de la Nature et du hasard veulent renverser des idées, liées à la raison scientifique ! *La Sauvagère* se place sous l'autorité des anciens et de leurs jeux de la nature, expliquant de la sorte les générations de tous les corps organisés, ce qui va à l'encontre des nouvelles idées de la société savante française du milieu du XVIII^e siècle

« on est plus difficile aujourd'hui sur ces prétendues générations, on ne connoît que celles qui viennent des plantes ou des animaux ; c'est à ses derniers qu'on rapporte avec raison les coquillages fossiles ; quelque métamorphose qu'ils aient éprouvée dans le règne minéral, ils sont dès leur origine, l'ouvrage des animaux qui les ont habités, ils en faisoient partie : il seroit inutile d'en apporter les preuves, il n'y a qu'un sentiment sur cela parmi les plus savans Naturalistes, & même parmi ceux qui, sans avoir étudié

la Nature, ont des yeux & du discernement, & ne sont point entêtés des préjugés des anciens » (De Sauvages, 1747, p. 734).

Le système créationniste et spontanéiste de La Sauvagère s'oppose, aussi, au système créationniste et catastrophiste –diluvianiste- de la communauté scientifique anglo-saxonne. Voltaire exploitait, d'une façon polémique, cette tension entre religion et science pour expliquer la présence des fossiles « En voici un qui crie que cette huître est une médaille du déluge ; un autre lui répond qu'elle est pétrifiée depuis quatre milliards d'années. Hé pauvres gens qui osez parler en maîtres » (Voltaire, (1768/1879, p. 457). Effectivement, Guettard, quant à lui, se montrait prudent et ne voulait pas entrer dans ses différentes vues théoriques.

Guettard et la primauté de la science des faits

Certains le disent baconien (Rappaport, 1972) car il cherchait comme cet illustre philosophe anglais du XVII^e siècle, à s'affranchir de la tradition aristotélicienne et de la scolastique en collectant des faits multiples avec rigueur et minutie parfois d'une façon excessive. Et Ellenberger parle de Guettard comme d'un « **infatigable observateur** » (1994, Tome 2, pp. 218-229). Ses nombreux voyages, ses échanges avec de nombreux correspondants, la richesse du cabinet de curiosités de la famille du duc d'Orléans ont fait de lui un remarquable observateur. Il paraît toujours soucieux d'une honnêteté scientifique, en s'affranchissant de tout préjugé, face aux divers objets de la nature à analyser sur le terrain. A l'instar de Bacon analysant toutes les formes d'erreurs dues à l'anthropomorphisme naturel de l'esprit humain, il s'attacha aussi à débusquer toute forme d'erreur qu'il n'admettait pas de laisser offerte aux publications. Tout comme son prédécesseur qui **refusait l'empirisme spontané et le rationalisme abstrait**, il voulait participer au progrès des sciences en recherchant les causes naturelles des faits. Dans cette voie Fontenelle avait ouvert la possibilité d'un programme scientifique gigantesque qui vut le jour grâce à la patience, à la minutie et à la ténacité de Guettard, mais surtout à sa vision de la science

« Pour parler sûrement sur cette matière, il faudrait avoir des espèces de Cartes Géographiques dressées selon toutes les Minières de Coquillages enfouis sous terre. Quelles quantités d'observations ne faudrait-il pas, & quel tems pour les avoir ! Qui sçait cependant si les Sciences n'iront pas un jour jusques- là, du moins en parti ! » (Fontenelle, 1720, p. 9).

Là encore **la science multipliant les observations est privilégiée dans ce grand projet d'Atlas minéralogique de la France**. Et Guettard se lance dans cette entreprise colossale en engageant avec lui une communauté de chercheurs naturalistes renommés tels Lavoisier et Monnet (Guettard & Monnet, 1780). Cette collaboration est d'ailleurs un exemple frappant de trois points de vue conflictuels pour aborder une étude géologique (Rappaport, 1967). Guettard est le naturaliste, expert chevronné de terrain qui s'affranchit de tout système temporel : il refuse une longue histoire de la Terre, les dépôts des strates en plusieurs époques, l'extinction des espèces. Il s'opposera donc aux tentatives innovantes du jeune Lavoisier, stratigraphe, qui envisageait au contraire de représenter une temporalité géologique par ses

« coupes générales » associées à l'Atlas, précurseurs de nos stratotypes actuels (Ellenberger, 1989). Par ce travail collaboratif de collecte des données, Guettard poursuit l'organisation de travail de son maître à penser qu'était Réaumur. Mais contrairement à ce dernier, Guettard ne présente pas les mêmes qualités de synthèse et de clarté des raisonnements en corrélant les faits. Il se perd dans ses démonstrations en développant force détails comme nous venons de le constater dans cette discussion avec La Sauvagère. Monnet dira à son encontre qu'il résiste même à ses propres observations et que la religion l'empêche de discerner toutes les implications de ses recherches (Rappoport, 1967, p. 279). Traduisons par là que Guettard pressentit l'intérêt de la comparaison de la nature lithologique et paléontologique des terrains géologiques à grande échelle sans aller jusqu'à énoncer un principe d'identité stratigraphique (Guettard, 1746/1751 ; 1763/1766 ; 1778-1780). Il pressentit l'intérêt de l'anatomie comparée en pouvant identifier les fossiles par rapport à leurs analogues actuels (Guettard, 1755, 1757, 1783, 1786). Enfin Il pressentit l'intérêt de la paléo-écologie et développa une introduction intéressante sur les accidents des coquilles fossiles et des coquilles actuelles (Guettard, 1759/1763) en réponse aux conjectures erronées d'Élie Bertrand défendant encore leur origine dès la création de la Terre pour la beauté, l'harmonie et la continuité entre les règnes (Bertrand, 1754, p. 77).

Guettard et l'entrée en système explicatif

Guettard n'entre qu'exceptionnellement en hypothèse ou en conjecture, comme le souligne Condorcet, dans son éloge de 1786 où il rappelle le but du travail de Guettard sur les cartes minéralogiques

« il restera encore un pas immense à franchir : mais pour le franchir avec succès, pour ne pas s'exposer à ne retirer de ses efforts d'autre fruit qu'une chute honteuse, il faut pouvoir s'aider de ses matériaux épars, de ces résultats minutieux d'une recherche pénible que M. Guettard s'occupoit à rassembler : & il a plus fait pour avancer la véritable théorie de la terre sur laquelle il n'a jamais osé se permettre une conjecture, que les philosophes qui ont fatigué leur génie à imaginer ces brillantes hypothèses, fantôme d'un moment, que le jour de la vérité fait bientôt rentrer dans un néant éternel. » (Condorcet, 1786/1788, p. 54).

Comme si une méfiance et prudence extrême étaient de rigueur, de peur de dévier la vérité sur la Nature et se couvrir de honte. Sans doute, Condorcet, fait-il référence à Buffon qui a été contraint, sous peine de censure par les théologiens de la Sorbonne, de déclarer conforme à la Bible, sa nouvelle théorie de la Terre et ses Époques de la nature¹⁵². Rappelons-nous,

¹⁵² Dans un premier temps, Buffon compte répondre aux attaques qui lui sont faites à propos de la sortie de son ouvrage, *Les Époques de la nature*. Il sollicite les conseils d'un ami, Guéneau de Montbeillard, pour la réponse qu'il projette le 14 juillet 1779 (Buffon, 1971, Tome 1, pp. 430-432). Dans un second temps, Buffon, quittant Paris pour Montbard, écrit une nouvelle lettre à son ami, Guéneau de Montbeillard, le 15 novembre 1779, pour expliquer sa fuite. Il se refuse de devoir recommencer les conciliations nécessaires, entre la science et la théologie, qu'il avait dû faire en 1751 à la sortie de sa première *Théorie de la terre*. Les notes ajoutées rappellent

effectivement, comment Guettard se moquait de Buffon et de ses « buffonades » à propos des systèmes explicatifs émis par ce dernier. Il les considérait comme dangereux car, détournant la science de la vérité, ils avaient comme seul attrait de plaire à un public de nombreux lecteurs

« Vous suivés le gout du siecle. estes vous fait pour vous laissez entrener par le Torrent. vous rendés brillantes tout ce que vous dites. mais pour quoy ne pas donner ce brillant a la verite. est-ce qu'a vos yeux elle n'en est pas digne : mais y a-t-il rien dans ce monde qui le merite plus que la verité. elle plait toute nue, jugés quelle attirance l'on auroit pour elle, si vous l'aviés pomponadée a votre facon. » (extrait d'une traduction du manuscrit 227 de Guettard, n.d. post. 1749, folio 156, différente de celle effectuée par Jacques Roger, 1962, p. CXXXIX).

Il faut dire aussi qu'il était très religieux et très pieux depuis sa plus tendre enfance et peut-être en conséquence avait-il une vision très manichéenne de la science. Comme dans l'éducation religieuse qui développe le bien et le mal, il concevait les sciences partagées entre deux pôles, la vérité ou le mensonge « Il ne voyoit point de milieu entre la vérité et le mensonge, entre ce qu'on croyoit & ce qu'on ne croyoit pas ; il eût pardonné une erreur de bonne foi, plus aisément que l'artifice ou la foiblesse, dans la défense de ce qu'on croyoit être la vérité. » (Condorcet, 1786, p. 58). De plus entrer en conjecture à propos des fossiles à amener ses contemporains comme Réaumur puis Buffon à se distancier de l'idée consensuelle d'une origine diluvienne biblique, à remettre en cause la temporalité des six jours de la création. Pour ces différentes raisons sans doute n'osait-il pas s'aventurer dans les spéculations hasardeuses. Il semble s'affranchir du temps : « l'Actualisme est aussi ancien que la Géologie, Guettard l'adopte d'instinct. Chrétien fervent, il se refuse toute spéculation sur le passé et l'avenir de la Terre. Le Temps, apparemment, ne lui appartient pas » (Ellenberger, 1994, Tome 2 p. 27). Ainsi, est-ce pourquoi, Guettard est resté un auteur bien plus méconnu que ses contemporains, qui ont osé traverser la frontière entre le monde empirique et le monde explicatif. Quoi qu'il en soit le progrès des connaissances scientifiques est jalonné d'erreurs et de réfutations et même le vigilant Guettard en commit dans sa contre-argumentation vis-à-vis de La Sauvagère. Et inversement le fourvoyé La Sauvagère pourrait, au contraire, avoir observé des microfossiles interprétés autrement aujourd'hui.

8. 1.5 Analyse géologique actuelle des arguments des deux protagonistes

La nature de la roche ou " pierre d'eau" de l'étang Des Places

Nous pouvons remarquer que **l'échantillon de roche de l'étang des Places**, apparenté au falun de Réaumur par Guettard, est une roche très fossilifère associée à un calcaire coquillier.

les nombreuses attaques qu'avait dû subir Buffon, déjà à la sortie de son premier ouvrage en 1749. www.buffon.cnrs.fr/correspondance.

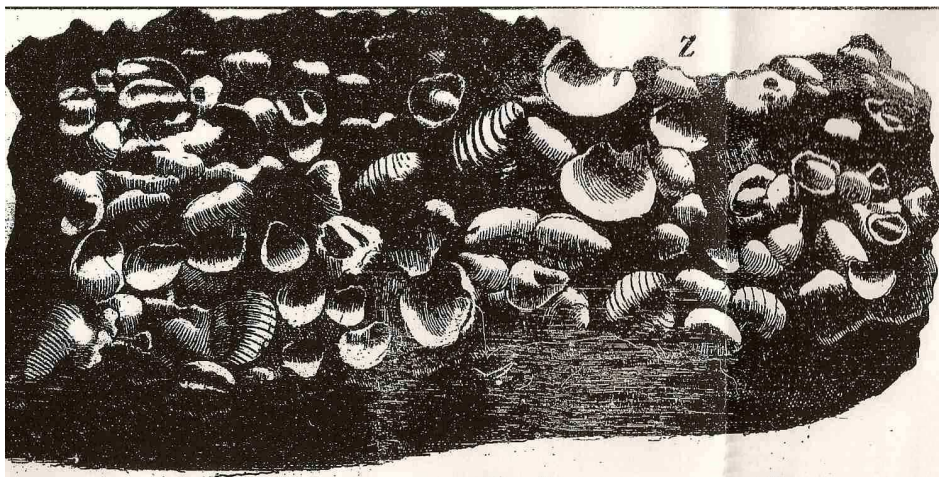
« Selon la description de La Sauvagère la **pierre à bâtir** qu'il a exploitée devient très difficile à tailler quand elle est exposée à l'air et se calcine (La Sauvagère, 1776, pp. 132-133)

« La nature du sol est une vase glutineuse poisseuse : une sonde y entre facilement & profondément. De molle, qu'est par conséquent cette fange, elle s'est métamorphosée déjà deux fois en une croute lapidifique, dans l'espace de quatre-vingt ans ; de sorte qu'au lieu d'une nappe d'eau, la nature y a substitué dans cette révolution de tems, une croute de pierre de neuf, dix, à douze pouces d'épaisseur, détachée au-dessus de la vase, comme un banc de glace sur toute son étendue [...]. Cette pétrification n'ayant lieu que sur la superficie exposée à l'air, & qui se couvre d'eau, on a cassé cet encroûtement une première fois, au bout de trente à trente-cinq ans, pour bâtir, comme on fait dans une carrière. » (La Sauvagère, 1763, p.2-3).

Effectivement cet encroûtement calcaire d'origine physico-chimique est nommé **calcin** aujourd'hui. C'est une patine ou croûte de calcite microcristalline recouvrant la surface des pierres de taille calcaires exposées aux intempéries. Suite aux phénomènes de précipitation et de gel, il y a induration par cimentation des pierres tendres exposées à l'évaporation. Les eaux de pluie peuvent aussi éventuellement agir par altération puis par induration¹⁵³.

Et selon le dessin associé (La Sauvagère, 1776, p. 168 & planche V), cette pierre présente des indicateurs d'un **calcaire lumachellique** issu d'un dépôt marin agité.

Iconographie N° 7 : « **Morceau de pierre de l'encroûtement de mon Château des Places, mêlée & formé de coquilles** »—La Sauvagère, 1776



Dessine d'après nature et Gravé par Decaché.

Cette accumulation de coquilles, intégrées dans un ciment apparemment abondant, présente essentiellement des lamellibranches aux ornements bien marqués —d'où l'origine marine- et certains gastéropodes brisés dont on voit la colonne interne —d'où l'agitation du milieu en mer peu profonde.

¹⁵³ La cathédrale de Beauvais serait constituée de ce matériau

Réaumur s'étonnait de l'étendue et de l'épaisseur de ce banc de coquilles concassées, appelé minières ou falunières, dans la plaine de Sainte-Maure, en nommant les villes à l'est des terres de La Sauvagère. Mais la cimentation des coquilles ne l'associe pas au **fameux falun d'un canton de Touraine dont Réaumur décrit l'exploitation** pour l'amendement des terres

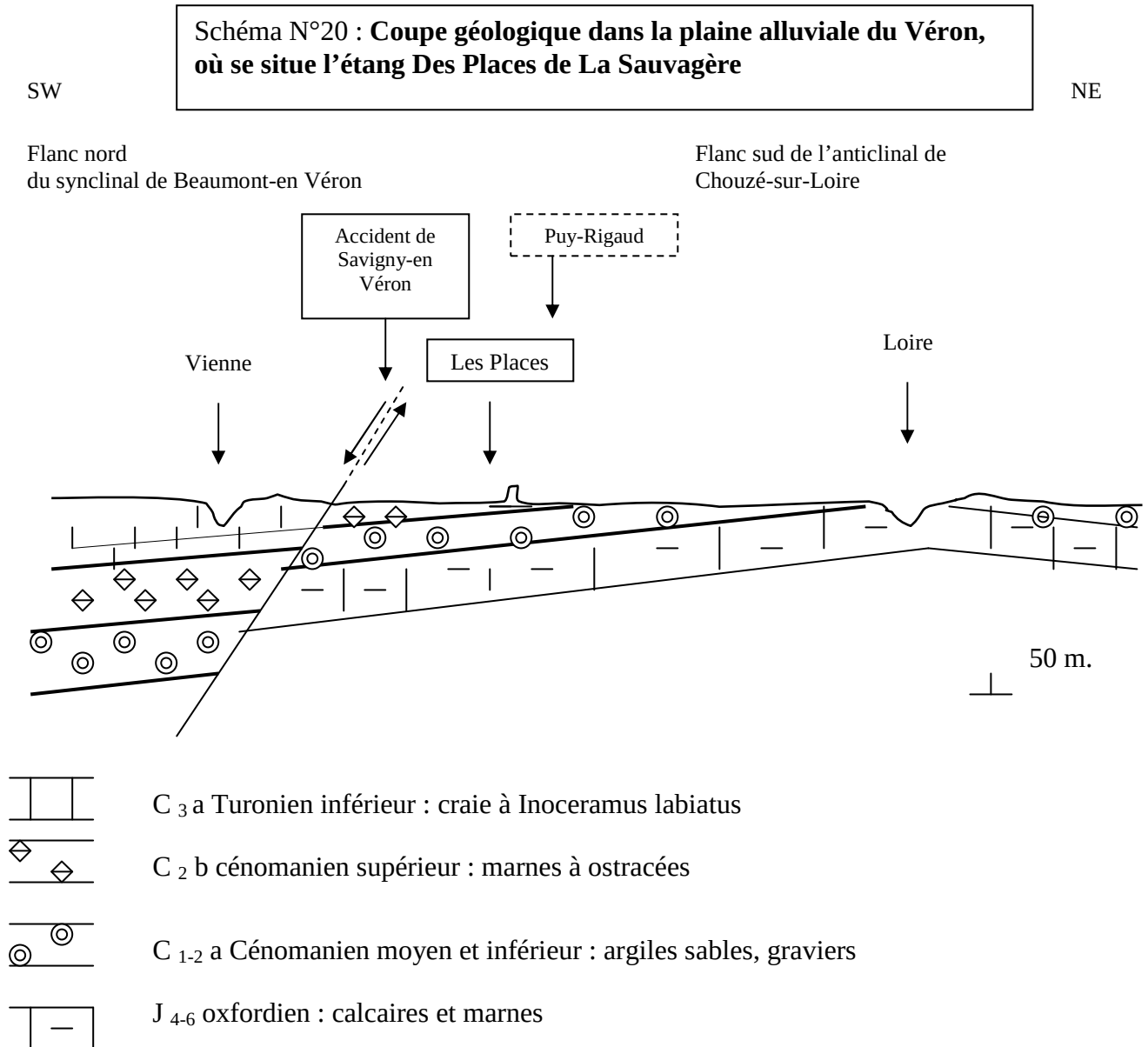
« Ces fragments, cette sorte de gravier fait uniquement de coquilles, est le massif parmi lesquels on rencontre des Coquilles entières d'un grand nombre d'espèces différentes. C'est pour avoir ce gravier fait de débris de Coquillages que les paysans fouillent ; ils laissent leurs enfants s'amuser à ramasser les Coquilles entières. [...] quand on es une fois parvenu à en trouver le lit, on le suit sans y rencontrer aucun mélange de matière étrangère, soit veines de sable, de terre ou de pierres. » (Réaumur, 1720, p. 404 et 406)

Actuellement le falun de Touraine réfère à une roche sédimentaire détritique, de mer agitée peu profonde tropicale, composée de très nombreux débris coquilliers (bryozoaires récifaux et encroûtants, lamellibranches, gastéropodes, ...). Il peut être consolidé par une matrice souvent sableuse ou argilo-sableuse mais plutôt gréseuse dans cette région. L'étage qui lui correspond est le vindobonien de l'époque miocène. Ces terrains sont discordants sur le crétacé supérieur et forment une couverture discontinue (Alcayde, 1975 ; Foucault & Raoult, 2005). Ainsi comme nous l'avions anticipé déjà d'après le modèle explicatif « monostratigraphique » de Guettard, **l'hypothèse d'identité stratigraphique est erronée**. En effet d'après les cartes géologiques actuelles la propriété de La Sauvagère repose en fait sur des terrains de la fin de l'ère secondaire et que les faluns de Sainte-Maure de Touraine sont associés aux terrains de l'ère tertiaire (Alcayde, 1975 et 1977). Cependant nous pouvons éventuellement faire l'hypothèse qu'un petit affleurement de quelques mètres carrés n'ait pas été répertorié sur la carte géologique actuelle : soit du falun miocène, soit plus probablement du tuffeau de l'étage Turonien du Crétacé. Le tuffeau, nom tourangeau de ces roches marines détritiques riches en débris coquilliers, présente de larges affleurements sur les coteaux des vallées de la région de Chinon. C'est une roche tendre qui se travaille facilement quand elle est encore imbibée de son eau de gisement et qui se durcit à l'air. D'ailleurs le calcin est aussi caractéristique des affleurements de craies et de tuffeaux correspondant aux séries du Turonien. Ces différentes caractéristiques communes rappelées valideraient l'hypothèse d'une poche de Turonien sur les terres de La Sauvagère intégrant l'étang Des Places.

La nature des terrains géologiques Des Places et des falunières

La Sauvagère a situé très précisément le gisement fossilifère de telle sorte que nous pouvons retrouver sur la carte de Chinon au 1/50 000 le lieu dit "Des Places" près du village de Savigny-en-Véron (Alcayde, 1975). Quelles suppositions pouvons-nous faire sur l'âge des fossiles récoltés par La Sauvagère aux abords de son château et dans son étang Des Places ? Pour cela regardons la nature lithologique et la structure des terrains géologiques auxquelles appartiennent ses terres. Elles sont placées au cœur d'une plaine d'alluvions anciennes de sables et de galets, entaillé par les vallées de La Loire et de la Vienne. Voici une **proposition**

de coupe topographique et géologique passant par le lieu dit Des Places selon les indicateurs donnés par la légende de carte la géologique du Chinon et du guide géologique (Alcayde & al., 1990, p. 97-100).



Les alluvions reposent donc sur une série stratigraphique de faciès cénomanien, au flanc d'un pli anticlinal. L'étang, nous disait La Sauvagère, se situait au pied d'une butte. Est-ce la colline toujours actuelle du Puy-Rigaud d'âge cénomanien ? Actuellement elle appartient au flanc sud de ce pli anticlinal dont le cœur au nord, est constitué de jurassique –oxfordien- à la hauteur de la ville de Chouzé, au bord de la Loire. Une belle discordance est repérable entre les étages géologiques de l'oxfordien –jurassique- et du cénomanien inférieur et moyen –crétacé-. Ce dernier affleure modestement aussi à l'ouest Des places. Nous pouvons alors supposer être dans l'étage du cénomanien, peut-être **à la limite des deux faciès du cénomanien supérieur et du cénomanien moyen**. En contact de faille au sud, se présente un

pli synclinal aux affleurements d'une cuesta turonienne. Globalement dans cette région de Touraine et d'Anjou, les terrains du secondaire ont une structure gaufrée en dôme et en cuvette, généralement d'anticlinaux et de synclinaux successifs. Nous savons d'autre part que dans les cuvettes formées se sont déposés des calcaires lacustres. La couverture sédimentaire crétacée présente donc des ondulations matérialisées par les courbes isohypses du toit du céno-manien. Dans le pli anticlinal Des Places, l'inclinaison des couches a été calculée à l'aide des isohypses du toit virtuel avant érosion du céno-manien ($\text{tg. } \alpha = 50\text{m} / 2000\text{m} = 1/40 = 1^\circ$). Le pendage est donc très faible, d'un degré, ce qui peut conforter d'être à la limite des deux faciès du céno-manien. Cette formation sédimentaire plissée initialement en dôme anticlinal, de sables, argiles, graviers puis marnes est constituée d'un ensemble de roches meubles, très tendres soumises à une érosion intense. Alors que les roches affleurantes du synclinal, plus résistantes, forment les coteaux calcaires, cette érosion différentielle induit une inversion de relief dans le pays de Véron, une structure anticlinale basse (34 mètres en moyenne) en cuvette formant un cirque de déblaiement, par rapport à une structure synclinale haute (80 mètres en moyenne) en cuesta.

Une hypothèse géologique explicative de l'erreur de La Sauvagère

En tant qu'historien, l'important est de constater le système erroné de La Sauvagère sur la végétation des fossiles, et de remarquer qu'il s'est trompé et qu'il a remis à jour une idée antique sur l'origine des fossiles. Mais en tant que géologue, nous sommes curieux de pouvoir l'interpréter actuellement en retournant sur les données des terrains géologiques. De nouvelles questions sont alors mentionnées. **Quels fossiles microscopiques ont pu être observés par La Sauvagère ?** Comment a-t-il pu se tromper et valider l'idée de la végétation des pierres à partir du terrain géologique décrit ? Comment a-t-il pu "voir" croître des fossiles bivalves ?

La Sauvagère évoque une butte au pied de laquelle se situe son étang. Or actuellement la carte topographique en révèle une, à proximité du lieu-dit Des Places, même si elle est moins élevée de treize mètres que les valeurs avancées il y a deux siècles. La butte dont parle Guettard et La Sauvagère est une butte actuellement de 6 à 10 mètres (courbe de niveau à 40m) de haut, située au sud-est du lieu-dit Des Places, et qui se détache dans le paysage très plat de cette plaine alluviale du Véron, à la confluence de la Loire et de la Vienne. Nommée " Puy-Rigaud ", elle peut très bien se configurer à collecter les eaux de pluies. La nature des terrains géologiques qui la composent, conforte notre hypothèse car ils sont constitués des « marnes à Ostracées » du **Céno-manien supérieur, niveau le plus abondant en fossiles dans cette région** (Alcayde, 1975)-. A l'ouest de la carte une autre butte, le Mont Sigout, comprend deux gisements fossilifères dans le céno-manien supérieur. Ces autres indices confortant l'étage déduit de l'analyse précédente, l'étang Des places aurait été donc en plein cœur du Céno-manien supérieur riche en diverses espèces d'huîtres, de térébratules et de foraminifères citées (Alcaydé, 1975, p. 6-7). De plus dans cette topographie inversée, les

coteaux de tuffeau du synclinal de Beaumont-en-Véron ont pu être soumis eux aussi aux lessivages des eaux de pluies. L'érosion, phénomène relativement rapide à l'échelle des temps géologiques, depuis plus de deux siècles a pu altérer aussi ces terrains sus-jacents très tendres et friables de craies et de tuffeaux. Or le niveau inférieur du **Turonien, craie à Inocérane**, comprend aussi une microfaune assez abondante de foraminifères, d'ostracodes et de coccolithes. Par les critères de taille et par l'analyse actuelle du gisement, **trois hypothèses de microfossiles**, des plus abondants au moins abondants, les foraminifères ou les ostracodes ou les coccolithes pourraient répondre à notre recherche.

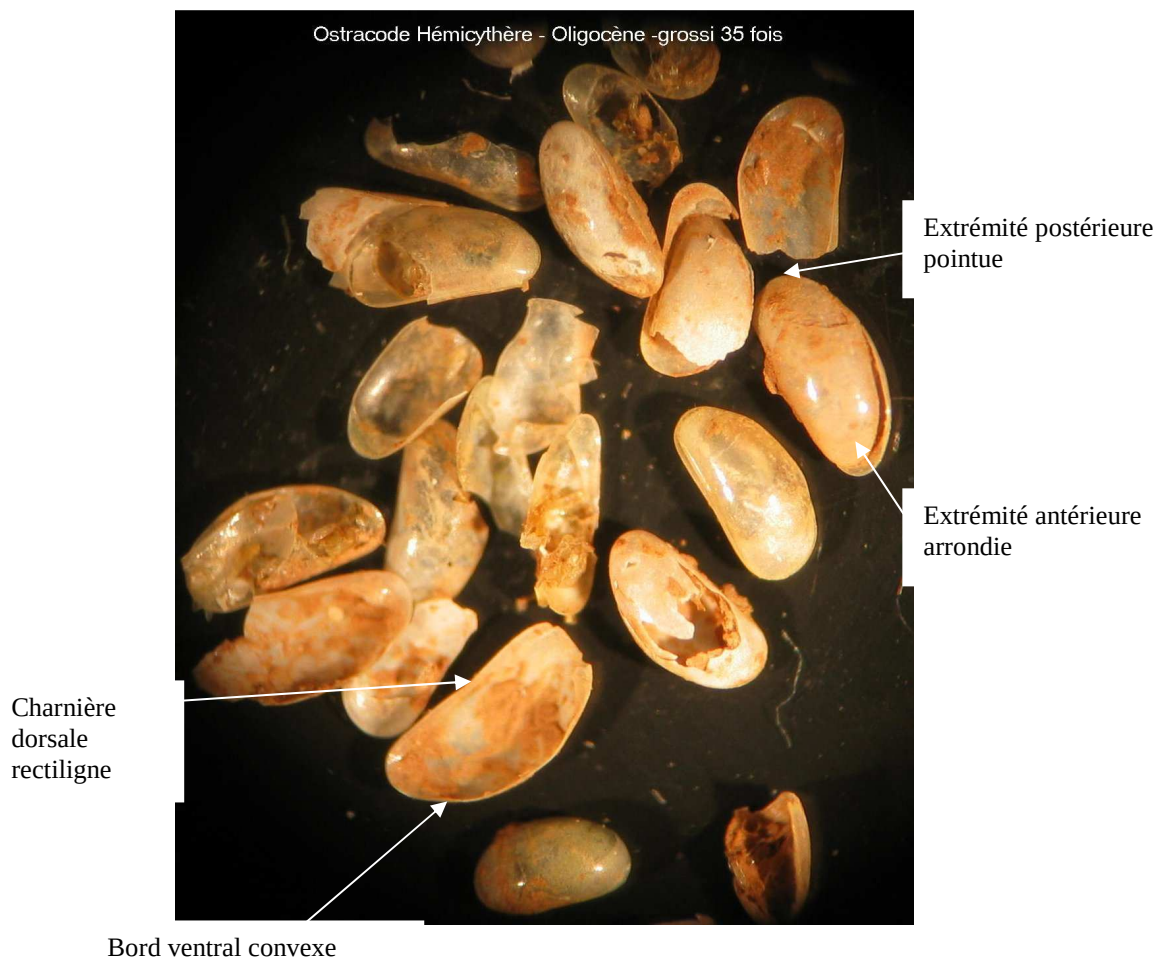
La Sauvagère nous parle uniquement de coquilles dont la taille est microscopique ce qui lui a donné l'idée de germe, pareillement aux graines des végétaux « cette vase qui se pétrifie, a la propriété d'être dépositaire de ces germes de coquilles, que j'ai souvent examinés avec le microscope » (1763, p. 4). En effet le microscope a été inventé par R. Hooke en 1665 et affiné par la suite par Leeuwenhoek (1632-1723). Celui-ci rend compte de toutes ses nouvelles observations microscopiques dont celles de cristaux, de minéraux et de fossiles dans une de ses nombreuses lettres à la Royal Society¹⁵⁴. Aussi Leeuwenhoek est le premier à avoir vu **un foraminifère au microscope**, fossile qu'il décrit ressemblant à une petite boucarde pas plus grosse qu'un grain de sable « little cockles [...] no bigger than a coarse sand-grain ». Or la boucarde ou « cœur de Boeuf » est un coquillage bivalve que Guettard reprend de la liste de La Sauvagère. Le grossissement maximum obtenu par les constructions artisanales de Leeuwenhoek atteint deux cents, ce qui est compatible avec les diverses tailles de foraminifères. A cette époque **l'assimilation des foraminifères, protozoaires, à des mollusques bivalves** ne doit pas nous surprendre outre mesure dans une classification en pleine réorganisation pour la macrofaune des invertébrés fossiles et une première observation d'un nouveau groupe de microfossile. En définitive c'est au XIX^e siècle, Alcide d'Orbigny (1802-1857), s'intéressant de près à la classification des mollusques, qui organisera le groupe des foraminifères et l'isolera dans la classification animale en 1825 dans un *Tableau méthodique de la classe des céphalopodes* (Métivier, 2002, p. 29). Retenons leur taille d'un grain de sable visible dès l'œil nu et considérons alors par le critère de forme ces microfossiles. Or le test d'un foraminifère, appelé souvent à tort coquille, présente un nombre de loges variables qui peuvent s'agencer et donner l'allure d'une coquille enroulée, d'où l'appariement d'Alcide d'Orbigny avec les céphalopodes.

¹⁵⁴ www.ucmp.berkeley.edu/history/Leeuwenhoek

Leeuwenhoek commença d'écrire à la Société Royale de Londres en 1673 pour faire part à la communauté scientifique de toutes ses observations éclectiques du monde vivant microscopique infini qu'il découvrait (piqûres d'abeille, bactéries, algues spirogyres, protistes, nématodes, rotifères, cellules sanguines, spermatozoïdes, etc.). Il poursuivit sans relâche cette correspondance jusqu'à sa mort en 1723. Ses lettres écrites en néerlandais ne tardèrent pas à être traduites en anglais ou en latin et imprimées dans « *Philosophical Transactions of the Royal Society* » de Londres, équivalent des mémoires de l'Académie des sciences de Paris.

Dans son second ouvrage *La Sauvagère* fait l'analogie des ces coquilles microscopiques avec des huîtres ou des moules, donc des bivalves (1776, p.137). De plus soutenant son modèle explicatif de végétation spontanée des fossiles, il se réfère uniquement à des macrofossiles bivalves pour le devenir de ces « germes coquilleux », pouvant atteindre des tailles considérables dans les carrières de Chinon, des gryphées. C'est pourquoi nous pencherions plus pour **valider l'hypothèse des ostracodes** observés par *La Sauvagère*. En effet dans ces terrains riches en débris coquilliers, ces coquilles pourraient être des microfossiles d'arthropodes crustacés appelés ostracodes, pour les trois raisons qui suivent. En effet, très abondantes dans les terrains du turonien qui forment les points hauts de la région, elles sont constituées de deux valves. Aussi elles sont discernables à l'œil nu et peuvent être observées au microscope selon un grossissement compatible au XVIII^e siècle. De plus, ces microfossiles, dont la taille est de l'ordre du millimètre, présentent une certaine analogie avec les macrofossiles bivalves ovoïdes tels les Inocérames, abondantes aussi à la base du turonien dans la région. Ce sont en fait des carapaces calcitiques de crustacés, constituées de deux valves asymétriques, latéralement allongées articulées dorsalement par une charnière. L'absence de stries d'accroissement est une autre différence avec les lamellibranches, mais ce détail n'est pas précisé par *La Sauvagère*. Le corps des ostracodes actuels, avec ses sept paires d'appendices, pend comme un sac à l'intérieur de la carapace. Les ostracodes fossiles sont connus pour abonder notamment dans les faluns et les marnes et ont pullulé même jusqu'à constituer des sédiments par leur seule accumulation (Bignot, 1988).

Iconographie N° 8 : **Un exemple d'ostracode marin, genre Cythéracé**
(photographie personnelle)



Enfin les ostracodes sont connus pour être abondants et ubiquistes dans les résidus de lavages et les lames minces actuellement. Or La Sauvagère parle d'une accumulation des eaux de pluies qui ont lessivé le plateau de la falunière et la butte sus-jacente à son étang. Ces microfossiles de faible densité ont pu effectivement être préférentiellement transportés pour s'amonceler dans la dépression.

Des coquilles pétrifiées au concept de fossile, de la pétrification au concept de fossilisation

Ces termes aujourd'hui, ne sont pas synonymes ; les coquilles pétrifiées sont un cas singulier de fossile et la pétrification est considérée comme un cas particulier de fossilisation. Nous abordons finalement à travers ces différents échanges comment les naturalistes du XVIII^e siècle ont contribué à **structurer un sens univoque et opératoire aux concepts de fossile et fossilisation** et à cerner leurs champs de validités. Avant d'aboutir au sens actuel élargi de fossile validé au XIX^e siècle, le terme de pétrification au sens plus restreint est préféré au

XVIII^e siècle. Il succède au « Fossilia petrificata » de la classification minéralogique de Linné qui comprenait les pierres figurées d'animaux, d'oiseaux, de végétaux et autres (Prévost, 1867, Tome 6, p. 169). Le domaine d'extension du concept est envisagé tout d'abord à cette époque par la multiplicité des processus et des objets fossiles. Nous pouvons remarquer que **le terme de pétrification porte à ambiguïté dans cet échange entre nos deux protagonistes**. Il est employé par La Sauvagère - c'est le titre de son mémoire « Sur une pétrification mêlée de coquilles »- et par Guettard. Or, ils sont sur un modèle explicatif complètement différent. La Sauvagère l'utilise au début de son mémoire pour la formation de la pierre dans son étang (1776, p. 131, p. 134, p. 140) puis il ne parle plus que de végétation pierreuse. Quant à Guettard, il veut surtout « rendre raison des prétendues pétrifications dont M. de La Sauvagère parle ». D'une part il évoque les coquilles à de nombreuses reprises par plusieurs qualificatifs -« des falunières » ou « bivalves » ou « fluviatiles » ou encore « de montagne » (Guettard, 1783a, p. 15, p. 17, p. 19)- qui n'effleurent pas leur processus de formation mais indiquent seulement leur localisation, leur morphologie ou leur biotope. Il n'emploie jamais le terme de coquilles pétrifiées mais de « moules entièrement ensevelies sous une incrustation pierreuse » (ibid., p. 16) pour les coquilles actuelles. Il fait référence principalement aux travertins actuels à l'émergence des sources ou des cascades favorisant la précipitation des carbonates encroûtant les débris animaux ou végétaux. Et il réserve le terme de coquilles fossiles (ibid., p. 18) si par déduction elles sont anciennement marines.

En référence à la terminologie des naturalistes du XVIII^e siècle, **le substantif « pétrification » peut avoir plusieurs significations**. Avant qu'elles ne soient données dans les différents dictionnaires abondants au milieu du siècle des Lumières, rappelons que Réaumur avait clairement établi la différence entre cinq sortes de coquilles fossiles parmi les prodigieux amas des faluns de Touraine : des coquilles parfaitement saines, des coquilles calcinées –sans vernis et tendres-, des coquilles pétrifiées –dont la matière initiale été remplacée par un suc pierreux, minéral ou métallique-, des pierres imprimées –pierres portant la figure des coquilles par un moulage externe- et enfin des pierres moulées – par le creux des coquilles ayant été remplies d'une matière pierreuse molle- (Réaumur, 1720, p. 402-403). Il évoquait déjà la controverse sur l'origine et la nature des trois dernières catégories

« ...nommées par les Naturalistes des *Pierres figurées*. Elles ont donné matière à bien des disputes ; ceux qui aiment à trouver des semences de tout, ou qui veulent absolument faire agir des formes plastiques, n'ont jamais voulu reconnoître que ces pierres devoient leurs figures à des Coquilles, quelques marqués que fussent les caractères qu'elles en portoient. Quoi qu'il en soit de cette dispute, l'origine des Coquilles qui ont leur vernis, & de celles qui, quoiqu'elles l'aient perdu, ont conservé leur forme, l'origine, dis-je, de ces Coquilles ne sçauroit être méconnue, puisqu'elles ont une ressemblance parfaite de nature & figure avec d'autres Coquilles, qu'on sçait sûrement avoir été habitées. » (ibid., p. 403).

Il restait donc à affirmer avec certitude l'origine organique des dernières catégories de coquilles fossiles et **dépasser la dispute apparente de mots pour aller vers une dispute de signification des véritables pétrifications**. Ainsi le baron d'Holbach veut « fermer la bouche à l'incrédulité » en clarifiant ce terme de pétrification à partir d'un échantillon de bois

composé d'une moitié encore organique et d'une autre moitié transformée en agate : « Quant aux autres principes (parties composants le bois qui se convertit en pierre) après avoir été chassés, ils sont remplacés par les molécules que les eaux déposent : c'est ce remplacement qu'on appelle pétrification » (Holbach, 1757, version électronique). Ce changement en pierre d'animaux et de végétaux anciens ne fera que se confirmer par la suite (Bertrand, 1763, p. 110) et « Quand ces corps n'ont point subi de changement, qu'ils n'ont point été altérés, dénaturés, ni minéralisés, alors on les nomme simplement fossiles » (Valmont de Bomare, 1768-1769, vol. 8, p. 387). Donc au-delà du signifiant, les signifiés révèlent un sens complètement différents avant d'atteindre un consensus dissociant bien minéralisation et encroûtement.

La **précipitation aux sources des pays calcaires est sans doute le plus simple à appréhender** car il s'effectue à une échelle de temps historique et il ne nécessite pas d'envisager une transformation de matière. Ainsi Guettard le développe-t-il abondamment. Il se focalise sur l'encroûtement aux exurgences et donc envisage principalement les moulages externes et la cimentation des coquilles. Il avait vu juste concernant le processus de dissolution des calcaires « comme un dépôt formé par les matières que l'eau des pluies y apporte » complémentaire du processus de précipitation « l'eau est chargée d'une matière qui se dépose peu à peu » (Guettard, 1783a, pp. 15-16). Le choc lié aux chutes d'eau, la diminution de pression et la présence de plantes chlorophylliennes aquatiques aux résurgences dans les roches calcaires ou encore l'augmentation de température saisonnière, provoquent un départ de dioxyde de carbone de l'hydrogénocarbonate de calcium soluble. Ce qui engendre un processus rapide de pétrification carbonatée¹⁵⁵. Marguerite Carozzi valide ces explications de Guettard dans le cadre des connaissances actuelles quand elle analyse la posture de Voltaire qui accrédite le modèle explicatif de La Sauvagère (1983, pp. 85-87). En définitive, la roche du château Des Places est constituée d'un mélange de coquillages fossiles marins issus du lessivage de la falunière sus-jacente et de coquilles actuelles dulçaquicoles. L'ensemble aurait été remanié dans un même dépôt pétrifiant contemporain. Quoiqu' en définitive cela pose le problème des sources pétrifiantes actuelles qui enrobent des vivants d'aujourd'hui par précipitation des carbonates. Or, ces vivants pétrifiés ne sont pas toujours considérés comme des fossiles au sens strict, vu leur âge actuel.

¹⁵⁵ Outre la précipitation, certains chimistes du milieu du XVIII^e siècle avaient proposé déjà d'autres conceptions que le chimiste Rouelle expose clairement (Lehman, 2007).

8. 2 La théorie récurrente des semences fossiles comme paradigme

8. 2.1 La théorie des semences fossiles au XVIII^e siècle, une théorie pas si anachronique en lien avec la génération spontanée

Le système de génération spontanée des fossiles *in situ* par La Sauvagère n'est pas aussi isolé dans la communauté scientifique du siècle des Lumières que les reconstitutions historiques pourraient nous le laisser penser. Comme c'est un système erroné à l'encontre du progrès scientifique alors intégré dans une reconstruction historique il peut apparaître comme une conception anachronique. Mais, l'idée de semences ou de germes de fossiles est plus présente au XVIII^e siècle que nous l'envisagions a priori. En effet, cette communauté n'a encore jamais résolu de savoir comment « naissent » les coquilles fossiles. D'où des controverses possibles sur l'origine et la nature des fossiles. En plus de La Sauvagère, nous l'avons localisée chez de nombreux autres auteurs, soit parce qu'ils la défendaient, soit parce qu'ils éprouvaient le besoin de la récuser.

Les différents défenseurs de la théorie des semences fossiles

Chez les défenseurs de cette théorie des semences, nous avons repéré une **conception animiste selon plusieurs niveaux conceptuels**.

Soit elle appartient au **cadre épistémique global et explicite de pensée** comme chez La Sauvagère. C'est le cas d'une théorie contemporaine à La Sauvagère, basée sur une analogie entre les mondes animal, végétal et minéral, dans l'esprit de rechercher une uniformité de production de tous les corps terrestres qui nous apparaît complètement extravagante aujourd'hui (Robinet, 1735-1820). Aux questions insolubles de pétrification, de formation des minéraux, de similitudes entre les figures organisées minérales, animales et végétales, Robinet ne voit qu'une possibilité, admettre des germes fossiles « les pierres engendrent des pierres, les métaux produisent des métaux, comme les animaux engendrent leurs semblables, comme les plantes engendrent des plantes, par des semences, des graines ou des œufs » (1763-1766., p. 291). Son argument principal est la structure convergente fibreuse des trois règnes. La comparaison est tellement poussée à l'extrême, qu'il envisage même une « semence masculine et une semence féminine » dans les formation des fossiles, il parle de « fossile hermaphrodite » et de « fœtus pierre » et il conçoit une croissance d'un fossile par « intussusception » en se nourrissant de « sucs de la terre » analogues au sang des animaux et à la sève des végétaux (ibid., pp. 310-317). Avec plus de modération et posée en hypothèse, Tournefort (1656-1708) avait déjà proposé une analogie avec le monde végétal pour émettre l'idée de l'accroissement des fossiles selon un système de végétation des pierres -au sens élargi du début du XVIII^e siècle : la corne d'ammon, la pierre judaïque, la crapaudine ou les yeux de serpent, la pierre Bélemnite, la pierre astroïte et les entrochi, les pyrites, les

champignons de mer, les cristaux de roche¹⁵⁶ - « c'est-à-dire, qu'ils commencent par un germe, & que le même suc qui leur ait communiqué par la roche d'où ils sortent, les fait éclore & les fait croître autant que leur texture solide se peut étendre » (Tournefort, 1702, p. 234). C'est une conception pleinement animiste concernant tous les corps terrestres solides, puisqu'il évoque la vie des pierres, leur nutrition et leur croissance grâce à un « suc nourricier de la terre » (ibid., p. 229). La nécessité de faire appel aux semences ou aux germes est fondée sur le fait de ne trouver aucun moule actuel de ces pierres « Les pierres judaïques ne sont assurément pas moulées, il faut donc recourir aux germes » (ibid., p. 131). Effectivement les bélemnites et les ammonites n'ont pas de semblables actuels, les analogues actuels des crinoïdes n'avaient pas encore été découverts (Guettard, 1755) et la corrélation avec les parties détachées de test d'oursins n'avait pas été effectuée. Par contre, quand les coquilles fossiles ont des analogues vivants, il imagine un « germe liquide pierreux » qui pénètre à l'intérieur des coquilles ou qui les enrobe —« les pecten, concha, mytilus, ostrea, nautilus, echinus » donneront des pierres nommées respectivement « pectinites, conchites, mytilites, ostracites, nautilites, echinites » (Tournefort, 1702, pp. 238-239).

Soit la conception animiste constitue un modèle explicatif sans pour autant assurer le fondement d'une théorie. Dans ce sens **l'étude d'un changement conceptuel** effectué par Élie Bertrand (1713-1797) est intéressante. Tout d'abord, il affirme la création des fossiles et sans doute aussi des pierres figurées, « fossiles propres, primitifs & essentiels à la terre », par Dieu au commencement du monde. L'harmonie, la beauté mais surtout la continuité et la « réunion entre le règne minéral & les autres règnes » comblant ainsi un hiatus éventuel caractérisent l'œuvre magnifiée selon la volonté du Créateur (Bertrand, 1754, pp. 78-79). Mais, au contraire de La Sauvagère, de Robinet ou de Tournefort, il envisage une formation externe par juxtaposition et non pas une végétation par principe interne d'intussusception (ibid., pp. 75-76). L'analogie fonctionnelle est réfutée et une divergence des trois règnes est reconnue « les pierres croissent, les végétaux croissent & vivent, les animaux croissent, vivent & sentent » (ibid., p. 207). Cependant d'emblée, il se positionne dans une posture de doute et se dit prêt à rejeter ses « hypothèses conjecturales, que nous abandonnerons sans peine à qui pourra les renverser, ou à qui voudra les attaquer » (ibid., p. 79). Et en effet, ce naturaliste change de modèle explicatif. En 1763, il avoue avoir conçu une conception divine des fossiles qu'il rejette finalement seulement une dizaine d'années plus tard en se rendant à l'évidence d'une origine animale ou végétale

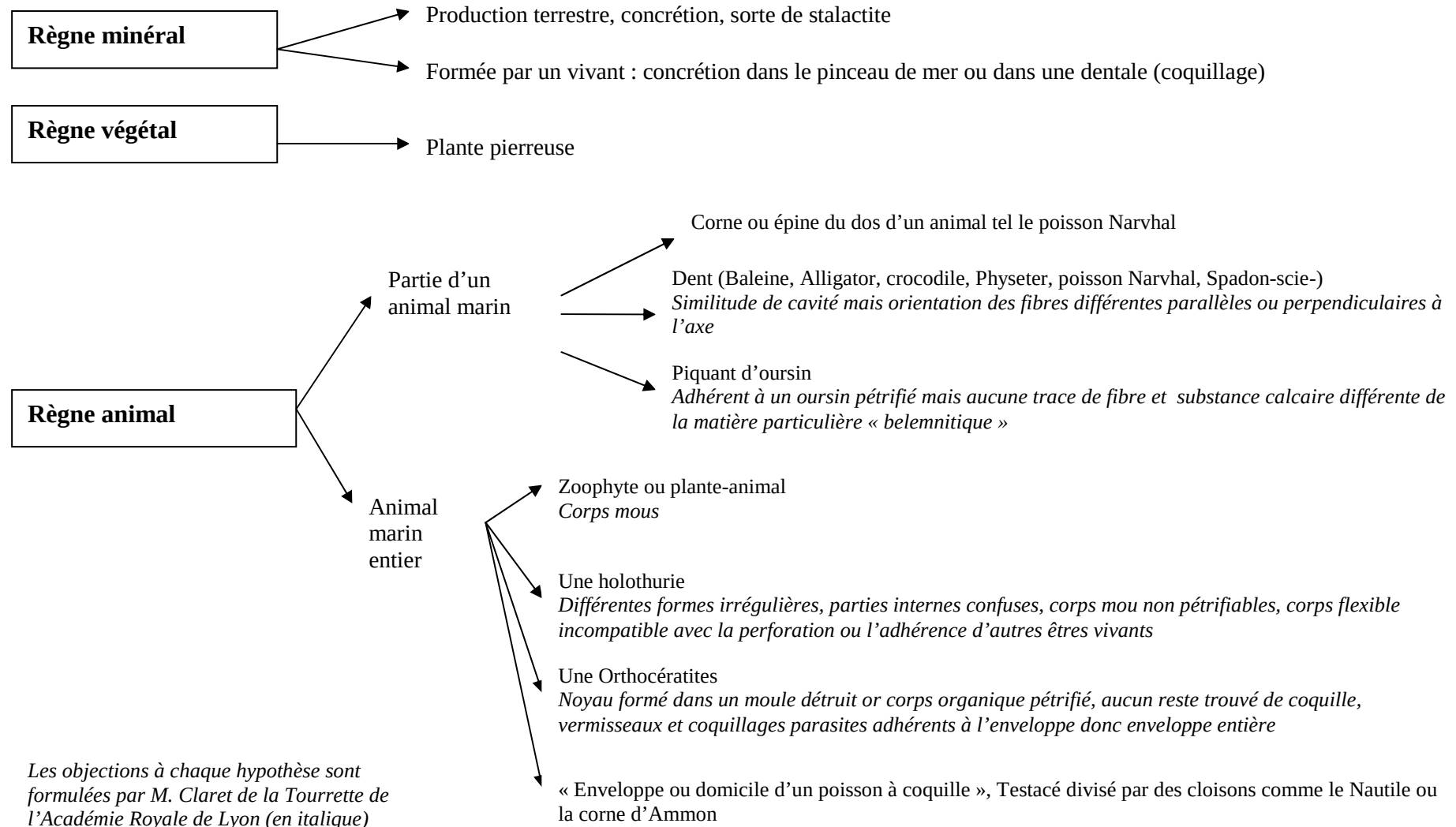
« J'avois crû autrefois que quelques-uns avoient originairement été formés, par le Créateur, & placés à la création dans la terre même, pour mettre de l'analogie entre les divers règnes, & de la variété dans les œuvres de sa main puissante. Mais il me paroît aujourd'hui que ce sont tous des fossiles accidentels qui

¹⁵⁶ Nous pouvons traduire la liste des fossiles, des vivants actuels et des cristaux comme suit : l'ammonite, la radiole d'oursin, dent de poisson, le rostre de bélemnite, les articles et tiges d'encrines, la pyrite, zoophytes tels les coraux du genre madrépore, le quartz

de la mer, ou de la surface de la terre, ont passé dans son sein, & ont été ensevelis dans les couches qui se sont formées par divers accidens, & durcies avec le tems » (1763, tome 2, p. 113).

Quelle belle leçon d'humilité scientifique que de réfuter son propre modèle explicatif ! La rupture vient des nombreuses observations multipliées au cours de ses prospections naturalistes dans les Alpes suisses, de ses lectures et de ses discussions avec ses pairs. Il passe en revue, avec rigueur, les différents systèmes contemporains – productions des fossiles journalières, catastrophiques ou liées aux translations marines. Et il formule de nombreuses objections à l'idée de semences, de principes séminaux et de jeux de la nature « les natures Plastiques sont bannies de la Physique, comme une sorte de refuge de l'ignorance, & les Matrices, dont on ne nous produit ni preuves, ni vestiges, sont des chimères [...] la végétation des pierres est proscrite, comme contraire à la nature » (Bertrand, 1752/1766, p. 36). La ressemblance parfaite, indubitable, déduite entre les corps fossiles et les corps actuels analogues marins ou terrestres, donne raison à une origine organique. Il insiste sur leur identité de forme, de structure, de taille, d'organisation, d'accidens, d'attributs spécifiques, de différences individuelles et enfin même sur leurs propriétés physiques, chimiques et médicinales ! (ibid., p. 112). Toute sa démarche est très justement rendue par l'exemple des bélemnites dont il avait répertorié très tôt les différentes idées (Bertrand, 1754, pp. 247-249) ce qui dut le déstabiliser et le placer dans une incertitude avouée. Concernant la bélemnite « trois règnes se sont disputés cette pierre » (Bertrand, 1763, p. 66) mais la conjecture de l'époque penche fortement sur l'appartenance au règne animal. Le règne minéral est simplement évoqué en rappel historique mais n'est pas développé. La discussion principale porte sur les arguments en faveur d'un animal ou d'une partie d'un corps animal. L'arborescence d'hypothèses déployées dans cet article est fort intéressante et nous avons voulu la schématiser pour visualiser l'heuristique inhérente à ces seuls fossiles.

Schéma N°21 : ESPACE DES POSSIBLES, ensemble des hypothèses sur la nature des bélemnites au XVIII^e siècle (Élie Bertrand, 1763)



L'organisation en fibres, l'existence d'un canal et de ligaments qui unissent les fibres sont les principaux arguments donnés au XVIII^e siècle en faveur d'**une origine animale**. Des arguments complémentaires certifient la nature de la bélemnite en un corps organique pétrifié, la forme constamment conique, la régularité des parties internes organisées en fibres de la circonférence vers l'axe, la fréquence d'un « alvéole »¹⁵⁷ étroitement fixé dans la cavité de la bélemnite ou trouvé dans les mêmes lieux, ainsi que la présence commune d'un siphon les traversant et en correspondance. De plus, une **origine marine** est appuyée par les observations suivantes qui confortent la conjecture. Premièrement, le fossile est toujours associé avec d'autres dépouilles de la mer dans les mêmes couches de terre, mêlé avec les cornes d'Ammon et les Griphites ou trouvé parfois adhérent à un oursin pétrifié d'après Buffon. Deuxièmement, d'autres corps marins sont adhérents à la pierre de bélemnite, tels des coquillages « parasites », des vermisseaux (scolopendre testacés), des glands (radioles ?), des petites huîtres. Enfin, des traces de perforation d'« Insectes », sont repérées souvent et affiliées à un petit ver marin qui ne perce que les bois, les coquillages et les corps pierreux (pholade ?). Nous concevons bien que le poids des hypothèses minérales ou végétales est devenu très faible par rapport au poids de l'hypothèse animale grandement dominante dans la seconde moitié du XVIII^e siècle.

En dernière analyse des semences fossiles, **l'ambiguïté porte sur la terminologie employée et la fonction effective sous-jacente**. Cette distorsion est très nette dans l'échange épistolaire du *Mercure de France* entre Mussard et Boulanger en mai et juin 1753. Le premier, s'appuyant sur ses prospections dans les environs de Paris, veut démontrer la permanence des coquilles fossiles constituant toute matière rocheuse. L'intérieur même des coquilles fossiles de grande taille, les coquilles moulées, les strates entières environnantes, toute roche des carrières et toute pierre des bâtiments, tous sont composés de « poussière de coquilles », « d'infiniment petites coquilles moulées, mêlées avec des petits œufs de poissons de mer »¹⁵⁸

¹⁵⁷ C'est ce que nous appelons aujourd'hui le phragmocône qui par sa segmentation équivaut à la coquille des Nautilus ou des Ammonites. Mais chez les bélemnites, cette coquille est interne et enveloppée de tissu mou. Alors qu'Elie Bertrand supposait avoir affaire à une proie de l'Holothurie, ce qui induisait deux animaux différents considérés. M. de Claret lui rétorqua combien il était surprenant qu'une aussi grande quantité de ces animaux s'empare de la même proie juste avant la pétrification ! La validation sera apportée au XIX^e siècle par l'exploitation des carrières de calcaire lithographique extrêmement fin à Solenhofen -Allemagne-Bavière. La découverte de bélemnites entières très délicatement fossilisées avec leurs restes de tentacules munis de crochets assura ainsi son appartenance à la classe des céphalopodes fossiles. Ce gisement fossilifère exceptionnel archive six cents espèces terrestres et marines parfaitement fossilisées : des poissons, des mollusques, des insectes et le fameux Archéoptéryx -découvert en 1861- mais aussi des fossiles improbables de méduses dont le corps mou est constitué de 99% d'eau. Ces faunes fossiles exceptionnelles sont nommées « lagerstätten » en hommage aux paléontologues allemands, pionniers dans ce type d'exploitation d'un « site-gisement » tel celui de Solenhofen (Gould, 1991, p. 70)

¹⁵⁸ Mussard prend-il les oolites fréquents dans les calcaires du Jurassique ou du Crétacé – les villes citées sont celles de Courtagnon, Grignon, Chaumont, Liancourt, Villarseau- pour des oeufs de poissons ?. Les oolites calcaires sont formées par un dépôt calcaire successif, en minces couches concentriques autour d'un grain ou d'un débris de test en suspension dans l'eau. Ces petites sphères sédimentées de diamètre de 0,5 à 2 mm ont effectivement été nommées en analogie avec des œufs de poisson (Foucault et Raoult, 2005, p. 245). Dans ce cas

(Mussard, 1753, pp. 89-91). Or il est convaincu de l'origine marine des coquilles fossiles « le regne minéral doit infiniment plus qu'on ne croit au regne animal » (ibid., p. 92). La réponse de Boulanger transforme quelque peu ces données dont il veut revendiquer la découverte. De l'unique critère de taille apporté par Mussard, il passe à un critère embryologique en parlant de « semences & embrions de coquilles de mer », d'une « semence entremêlée d'autres coquilles déjà formées », de « multiplication des coquilles » ou encore de « croissance encore plus merveilleuse » (Boulanger, 1753, pp. 89-91) et se réfère à un mémoire sur la végétation des pierres. Pourtant dubitatif encore sur l'assentiment général des déplacements des mers sur notre globe, Boulanger est en pleine perspective d'un système favorable aux changements géophysiques liés à un déplacement de l'axe de pôles et à l'érosion (Gohau, 1990b, p. 205). Cette convocation des semences n'est donc pas systématiquement liée à une conception animiste mais peut être associée à une conception organique. En 1703, Maraldi envisageait déjà le rôle des semences de poissons et de coquillages, portées par des vapeurs et des eaux souterraines qui se seraient asséchées. La finalité de ce système est de répondre au problème principal, la présence et le transport des poissons et des coquilles fossiles dans les terres et les montagnes élevées (Fontenelle, 1703, p. 23).

Les opposants à la théorie des semences fossiles se mobilisent

Au XVIII^e siècle cette théorie animiste était aussi considérée par des opposants qui la réfutaient catégoriquement (Maillet, Guettard, d'Holbach)

« les savans à qui la philosophie péripatéticienne & les subtilités de l'école avoient fait adopter une façon de raisonner fort bizarre, prétendirent que les coquilles, & autres *fossiles* étrangers à la terre, avoient été formés par une force plastique (*vis plastica*) ou par une semence universellement répandue (*seminium* & *vis seminalis*). D'où l'on voit qu'ils ne regardoient les corps marins *fossiles* que comme des jeux de la nature, sans faire attention à la parfaite analogie qui se trouvoit entre ces mêmes corps tirés de l'intérieur de la terre, & d'autres corps de la mer, ou appartenans au regne animal & au regne végétal ; analogie qui eût seule suffi pour les détromper. [...] Des prétendues forces plastiques & ces explications, quelques absurdes & inintelligibles qu'elles fussent, ont trouvé & trouvent encore aujourd'hui des partisans ; parmi lesquels on peut compter Lister, Langius, & beaucoup d'autres naturalistes, éclairés d'ailleurs » (d'Holbach, 1757, Vol. VII).

Certains auteurs prenaient en compte cette idée de germe mais pour mieux la contredire ensuite comme De Maillet le fit envers la théorie des germes développée par Langy¹⁵⁹, médecin et philosophe suisse. S'insurgeant contre l'idée ridicule du hasard des « jeux de la nature », et contre l'impossibilité d'une origine diluvienne beaucoup trop courte, ce dernier concevait la présence des pétrifications de coquilles marines dans les montagnes grâce aux germes

« Il prétend que tous les coquillages qui se trouvent dans les pierres de nos montagnes entiers ou brisés, sont provenus de la semence des mêmes corps marins entière ou séparée : Que par des canaux

paradoxalement Musard veut asseoir en partie sa démonstration de productions rocheuses marines par la présence d'oolithes qui sont en fait des productions minérales.

¹⁵⁹ Traité paru en 1708 dont nous n'avons pas retrouvé la référence

souterrains ayant été portée par les eaux de la mer au pied des montagnes même les plus éloignées d'elle, elle a été élevée à travers les pierres, souvent jusqu'à leur sommet, et rendue féconde souvent aux endroits où ces corps se rencontrent [...] Que ces corps marins sont plus ou moins parfaits, plus entiers ou plus divisés, selon que la semence dont ils ont été produits est restée dans sa totalité ou qu'elle a été partagée, et selon aussi la disposition de la substance des pierres propres ou non à fertiliser cette semence » (Maillet, 1755/1984, pp. 184-188).

Ainsi, les germes circuleraient dans des fissures au sein des roches puis les pénétreraient et s'y développeraient si la matière pierreuse était propice. Le germe formerait donc d'abord un animal vivant avant de se pétrifier. Maillet déclare que ces conduits sont chimériques, ce voyage des semences à travers les montagnes comme improbable et cette fécondité dans la roche impossible. Il évoque d'autres observations. Des animaux terrestres sont pétrifiés et pas seulement des animaux aquatiques, mais aussi, divers « corps étrangers » sont renfermés dans les pierres telles les barques, ancres, poutres, pièces d'or et d'argent fabriqués par l'homme et non issus, eux, d'une quelconque semence.

8. 2.2 Antérieur au siècle des Lumières, le paradigme des semences dans la formation corrélée des pierres et des fossiles : Au XVI^e siècle, le cas de Bernard Palissy, paléontologue pionnier dans un cadre de pensée liée aux semences

Un artisan de la terre, un naturaliste et un conférencier autour des objets fossiles à la Renaissance

En lien avec ses métiers d'arpenteur, de verrier et d'artisan potier Bernard Palissy (1510-1590) prospecte et observe la nature dans de nombreuses régions de France tout au long de sa vie, en priorité dans le Béarn, la Charente, la Champagne et les Ardennes (Plaziat, 1997, p. 17), tant dans le monde minéral qu'animal et végétal, tant dans le monde actuel que dans les traces du passé. Autodidacte, il lit des ouvrages écrits en français dont celui du médecin italien Cardan, *De Subtilitate* traduit par Richard Le Blanc en 1556. Il a la volonté de discuter les opinions des autres savants contemporains après s'être soucié de vérifier l'exactitude de leur propos par des observations personnelles et minutieuses sur le terrain. Ce **rapport permanent et privilégié à la nature**, qu'il appelle le « livre du ciel & de la terre », le caractérise en premier plan. Une autre facette du personnage est cette recherche de vérité, cette volonté de « mettre en lumière tous ces beaux secrets, pour laisser à la postérité » (1580/2004, p. 185). Or afin de vérifier ses idées et pour pallier ses lectures uniquement en français, il organisa des conférences-débats dès son arrivée dans la capitale en 1575 et jusqu'en 1584. Elles se font autour de différents objets récoltés qu'il collectionne dans son cabinet de curiosités, des pierres, des cristaux, des sels et de nombreux fossiles ou des objets fabriqués comme les métaux et les émaux. Il espérait, ainsi, pouvoir échanger avec de

nombreux savants lettrés de son époque. Ces derniers auraient lu les philosophes et lui apporteraient, en contrepartie, les savoirs des livres antiques. Il réussit effectivement à réunir des médecins, des chirurgiens, des apothicaires, des avocats, des gens d'église, et d'autres gens experts en arts, en mathématiques et en lettres (ibid., pp. 186-187). Son assurance d'orateur et de scientifique était grande puisqu'**il défiait son auditoire à la contradiction** en s'engageant à rembourser quatre fois le droit d'entrée d'un écu à un contradicteur démontrant comme erronées ses théories avancées « par le moyen de mes auditeurs je pourrais tirer quelque contradiction, qui eût plus d'assurance de vérité que les preuves que je mettais en avant : sachant bien que si je mentais, il y en aurait de grecs & latins qui me résisteraient en face, & qui ne m'épargneraient point » (ibid., p. 186).

Un dialogue renommé d'intérêt didactique entre Pratique et Théorique, personification d'une épistémologie autour de problématiques

Ainsi quand il publia *Les Discours admirables* en 1580 c'est donc après cinq années de conférences-débats menées à Paris, et à la suite d'un premier dialogue écrit en 1563, *Recepte véritable*. L'intérêt didactique d'un dialogue est alors évident pour Palissy et le choix d'un écrit sous forme dialoguée peut être interprété comme une transposition des conférences publiques qu'il a animées (Raichvarg, 1991). Le second choix par l'auteur d'une **dénomination allégorique de ses deux personnages**, Théorique et Pratique, le renforce. Palissy veut effectivement mettre en avant un certain **rapport à la connaissance de la nature et à la vérité**. Il est convaincu qu'elles ne peuvent être acquises que par la primauté de l'observation de la nature accompagnée de la raison, toutes deux malheureusement censurées par la sottise perpétuée de beaucoup d'anciens¹⁶⁰. Palissy par la voix de Théorique ouvre le débat sur la formation des pierres par deux opinions qui seront réfutées par Pratique, la création originelle ou la croissance journalière des pierres. Et Palissy par la voix de Pratique réfute la croissance végétative des pierres et valide le modèle d'un accroissement minéral par couches successives attesté par les joints dans la roche et effectué grâce aux dépôts des eaux circulantes chargées en sels. Ainsi Palissy se positionne d'emblée avec une conviction autour de la construction et de la validation de la connaissance sur les sciences de la nature au XVI^e siècle en France qui engage fortement une dialectique entre la théorie et la pratique en faveur de cette dernière. Ce n'est pas sans rappeler la mise en tension entre nos registres empirique et

¹⁶⁰Il est intéressant de constater que les noms des personnages, Demande et Responce, dans son premier livre en 1563, *Recepte véritable, par laquelle tous les hommes de la France pourront apprendre à multiplier et augmenter leurs thrésors*, avaient une moindre portée symbolique et engageaient beaucoup moins l'auteur que ceux choisis dans le second ouvrage de 1580. Mais un des poèmes dédiés à Bernard Palissy en avant-propos de son premier livre marque bien d'emblée la posture de l'auteur (P.-A. Cap, réed. 1961). En préface ce poème est quasi anonyme puisque marqué simplement de deux initiales. D'après les notes de l'auteur du XX^e siècle, FB serait probablement François Bérolalde de Verville, son contemporain, auteur du *Moyen de parvenir*.

explicatif, moteur de la problématisation que nous allons voir maintenant sur quelques extraits retenus.

La dynamique d'une problématisation par un réseau de problématiques engageant la controverse

Témoin d'une volonté forte d'abandon de la science scolastique au profit d'une science des objets de la nature, Pratique qui mène la discussion va engager **différentes problématiques de minéralogie et de paléontologie** qui nous intéressent. Nous retenons tout d'abord une démonstration en deux temps sur le problème de la genèse des cristaux et des pierres ou pétrification au sens élargi qui peut inclure des temps de discussion sur des objets fossiles dans le « Traité des métaux & Alchimie » (Palissy, 1580/2004, pp. 118-127) et dans le traité « Des pierres » (ibid, pp. 180-203). Tout son raisonnement élargi à la minéralogie permet de cerner le cadre général de pensée de l'auteur à travers deux problématiques concevant la solidification de la matière et sa réversibilité, celle d'un état antérieur liquide des métaux et celle de la transformation d'une eau en pierre. Ce passage à l'état solide, il le nomme congélation. Et c'est à travers une controverse sur l'origine diluvienne ou non des fossiles, que les deux modèles minéralogiques d'intussusception et de juxtaposition sont mis en contradiction. C'est par un jeu dialogué affiné, préconstruit intellectuellement, que Pratique met Théorique en situation d'abandonner sa théorie première du Déluge universel, soi disant défendue par Cardan, ou celle de la croissance des pierres même si, parfois il professe en désespoir de convaincre son interlocuteur. Et, en parallèle, il voudrait lui rendre acceptable la théorie qu'il défend de la pétrification de coquilles et poissons ayant vécu dans d'anciens lacs asséchés. Il génère, ainsi, une confrontation approfondie de **différents concepts de l'époque** : la circulation des eaux sur Terre et l'origine des fontaines, les sources, la « dissolution » des sels et leurs propriétés ; la genèse des pierres qui inclut celle des cristaux, des sels et des pétrifications ; les propriétés de l'argile et de la marne. Ces trois concepts convergent vers la compréhension de la formation des fossiles et de leur nature organique. Pratique les met en relation et déroule sa logique à partir de savoirs successifs qui s'enchaînent : des eaux circulantes à leur charge en sels ; des sels à leur omniprésence dans tout, métaux, pierres ; des pierres à des objets singuliers pétrifiés, bois ou tout autre plante, homme, coquille ou tout autre animal ; des coquilles pétrifiées dans les montagnes et les vallées à leur formation in situ dans les lacs ou réservoirs d'eau. Il maintient le suspens dans son raisonnement qui oblige Théorique à revenir plusieurs fois sur le problème initial de la « cause de la pétrification des coquilles » dans les pierres (1580/2004, p. 182, p. 188, p. 189, p. 191).

Un modèle explicatif de pétrification

La difficulté est de synthétiser les contraintes principales, explicitées par *Practique*, en les exprimant selon nos concepts actuels sans pour autant déformer la pensée de l'auteur des *Discours admirables* du XVI^e siècle. Palissy veut **engager une réelle controverse** contre « monsieur Cardan », qu'il appelle irrespectueusement la « bavasse », et son opinion d'une origine diluvienne universelle et marine des coquilles fossiles, alors qu'il défend une formation locale et dulcicole. Résumons les raisons de Palissy, développées dans **son modèle explicatif de la pétrification**. Après s'être intéressé à démontrer le bien-fondé d'une formation permanente des pierres, en s'appuyant sur l'observation des stalactites dans les nombreuses grottes visitées, Palissy généralise cette pétrification possible à la fossilisation de nombreux êtres vivants tels les coquillages, les poissons, les bois, les crabes et écrevisses, les oursins ou les fruits¹⁶¹. Il mobilise trois faits empiriques principaux par rapport aux coquilles pétrifiées : la grande quantité de coquilles fossiles répandues dans de nombreuses régions de France, leur forme très bien conservée et leur ressemblance aux coquilles pêchées dans l'Océan Atlantique ; et un fait empirique à propos des coquillages actuels dont les valves sont constituées d'une matière possédant des propriétés communes avec la pierre. Il différencie les fossiles épigénisés « réduits en métal ou en pierres », des coquilles pétrifiées qui sont des moulages : « Quand j'ai eu bien près regardé aux formes des pierres, j'ai trouvé que nulle d'elles ne peut prendre forme de coquille ni d'autre animal, si l'animal même n'a bâti sa forme » (ibid., p. 194) ou même encore des coquilles non transformées¹⁶². En conséquence **il ne peut douter de l'origine vivante de ces coquilles, des poissons ou du bois**. Dans son raisonnement, il la présente d'ailleurs comme une conclusion: « Il faut donc conclure que avant que ces coquilles fussent pétrifiées, les poissons qui les ont formées, étaient vivant dans l'eau qui reposait dans les réceptacles des montagnes & que depuis l'eau et les poissons se sont pétrifiés en même temps » (ibid., p. 196). Il est alors contraint de convoquer une série de conditions nécessaires à la pétrification. Si le corps vivant reste longtemps immergé dans des eaux, ces eaux vont pouvoir pénétrer par tous les pores, et comme ces eaux sont riches en sels dissous, elles pourront être attirées par les sels du corps mort et peu à peu le pétrifier. Cela suppose deux autres nécessités : une induration simultanée par des eaux métalliques du

¹⁶¹ Palissy fait référence à de nombreux végétaux pétrifiés : arbrisseaux, herbes, fleur, poire, pomme de coing, figue, navel (Palissy, 1580/2004, p. 202). Il faut relativiser cette interprétation commune erronée, de formations minérales ressemblant à des fruits et qui n'ont aucunement une origine organique (Guettard, 1786b, Tome 2, pp. 524-545)

¹⁶² Toute son expertise d'artisan potier et d'arpenteur géomètre se révèle utile pour la compréhension des fossiles et de leur genèse, sa technique du moulage d'après nature avec la terre d'argile, et ses prospections qui lui ont permis de récolter de nombreuses coquilles –une quarantaine d'espèces de mollusques différents actuels comme fossiles ont été recensées (Plaziat, 1997, p. 21)- dont il composait les motifs décoratifs animaliers de ses plats actuellement dans les musées de Sèvres ou du Louvre (ibid., p. 19). Les coquilles fossiles proviendraient du Jurassique des Ardennes, du Crétacé de Saintonge et principalement de l'Eocène du Bassin de Paris (ibid., p. 16-17)

poisson fossile en formation et de la vase en roche dans laquelle il est enfoui « le rocher qui est tout plein de diverses espèces de coquilles, a été autrefois vases marines, produisant poissons » (ibid., p. 194) ; l'évaporation des eaux communes puisque aujourd'hui nous retrouvons tous ces fossiles en terre, au bord ou loin des mers « les eaux communes se sont exhalées suivant l'ordre commun, qui leur est ordonné » (ibid., p. 123). Toute sa démonstration aboutit à une forte probabilité d'une fossilisation in situ principalement lacustre et dulcicole pour laquelle il n'admet aucune réfutation « Par quoi je maintiens que les poissons armés¹⁶³, & lesquels sont pétrifiés en plusieurs carrières, ont été engendrés sur le lieu même, pendant que les rochers n'étaient que de l'eau & de la vase, lesquels depuis ont été pétrifiés avec les poissons » (1580/2004, p. 191). Ainsi dans son lexique il définit « lapifier ou pétrifier »¹⁶⁴, pour la diagenèse des roches sédimentaires et la minéralisation du bois et il l'élargit aux coquilles, aux poissons, à l'homme « Pétrifier se dit des choses qui ont été formées en bois, ou en coquilles, ou autres végétatif, en première essence, & depuis se sont réduites en pierre [...] non seulement le bois et les herbes se peuvent réduire en pierre, mais aussi le corps de l'homme et de la beste » (1580/2004, p. 322 et p. 181). Selon Palissy, les coquilles fossiles résultent de la conjonction de plusieurs causes, un ancien vivant envasé à l'origine, un agent matériel indispensable tel le suc lapidifiant¹⁶⁵ et un principe occulte tel « une puissance séminale ou germinative ». En effet, si sa conception de la formation des coquilles fossiles envisageait bien leur origine organique, Bernard Palissy mobilisait pourtant une semence minérale comme facteur primordial de la fossilisation. Il envisageait la nécessité d'une « semence salsitive pétrifiante » ou « semence congélative ». Ces textes fameux des *Discours admirables* méritent d'être analysés sous cet angle.

¹⁶³ Les poissons armés sont des coquilles plus ou moins épineuses comme des fossiles de Murex ou de Cérithes du Tertiaire du Bassin de Paris. (Plaziat, 1997, p. 21).

¹⁶⁴ Le terme de pétrification sera retenu dans la plupart des dictionnaires scientifiques qui affluèrent au XVIII^e siècle (Bertrand, 1763, tome 2, pp. 110-116 ; Holbach, 1765 ; Valmont de Bomare, 1768-1769, tome 8, pp. 387-393). Soit ce terme définissait les objets de la nature (Bertrand, 1763, p. 110) en incluant les moulages d'anciens vivants (Valmont de Bomare, 1768-69, tome 8, p. 387) ; soit il définissait un processus ou « opération de la nature, par laquelle un corps du regne végétal, ou du regne animal, est converti en pierre, en conservant toujours la forme qu'il avoit auparavant » grâce à un « remplacement de molécules terreuses ou métalliques » et exclut les moulages (Holbach, 1765) ; soit il est appelé « transmutation » (Valmont de Bomare, 1768-1769, tome 8, p. 392).

¹⁶⁵ Il s'apparenterait, dans le cas de la taphonomie, aux combinaisons chimiques réalisées lors de la diagenèse, fossilisation sensu stricto. C'est un équilibre chimique permettant la minéralisation des tissus vivants qui résulte simultanément de la dissolution des éléments de la matrice du vivant par les eaux de circulation riches en sels minéraux et de leur recristallisation sous une forme stable (Denys, 2002). La taphonomie est la science actuelle de l'enfouissement inventée en 1940 par le paléontologue russe Ivan Efremov qui considère l'ensemble des étapes nécessaires à la fossilisation au sens large, résultat de la combinaison de multiples processus (mort de l'animal, décomposition partielle ou totale par autolyse des tissus organiques, désarticulation du squelette, transport des éléments osseux, enfouissement, et enfin la diagenèse qui est la fossilisation au sens strict).

Le cadre épistémique de Palissy, mise en tension entre une pensée créationniste-animiste et une pensée matérialiste-rationaliste

Palissy avait un rapport très fort à la religion, il était croyant, pratiquant et même risqua plusieurs fois sa vie par son militantisme protestant qui lui valut plusieurs séjours en prison par ces temps troublés de guerre des religions. Il bénéficia de la protection de la reine Catherine de Médicis qui le nomma *Inventeur des Rustiques Figulines du Roy* à partir de 1563. En conséquence, **Palissy a une conception globalement fixiste liée à la création du monde par Dieu**. Ainsi il ne conçoit pas de changements dans les rivages des mers actuelles « Dieu a constitué les limites de la mer, lesquelles elle ne passera point : ainsi qu'il est escript és prophètes » (Palissy cité par Piveteau, 1965, pp. 3-4). Sa pensée heuristique reste cantonnée dans un temps historique, ce qui demeure un obstacle crucial de la pensée préscientifique. Et même si, historiquement, il a pu constater des variations du niveau de la mer, celles-ci restent très faibles et restreignent aussi localement des gisements fossilifères à proximité du littoral actuel. C'est pourquoi, il interprète d'une façon erronée les fossiles marins des Ardennes comme des fossiles d'origine lacustre¹⁶⁶. Tout son cadre de pensée est géré par la création originelle comme il l'affirme « le fondement principal de mes arguments : à savoir que dès lors que Dieu créa la terre, il la remplit de toutes substances » (1580/2004, p. 177). En fait ces substances sont des sels incorporés dans des semences.

En corrélation à la pensée créationniste, **les semences sont omniprésentes**. Elles concernent tout élément de la nature qu'il soit minéral, végétal ou animal ou humain : « les poissons ne vivent sinon dans les lieux là où il a plu à Dieu de jeter la semence de leur génération & nourriture, comme j'ai dit ci-devant qu'il a fait des semences de métaux & de tous minéraux, & des végétatifs » (ibid., p. 197). Palissy dissémine le terme de semence partout dans ses discours pour tout processus minéral : « je te dis encore que la semence des métaux est liquide & inconnue aux hommes, tout ainsi que le sel dissout ne se peut connaître parmi l'eau commune jusqu'à sa parfaite congélation » (ibid., p. 125) ou quelque fonction du vivant « l'eau générative de la semence humaine [...] quelques endroits où les semences des poissons peuvent prendre nourriture, & d'autres non. Tout ainsi comme des végétatifs » (ibid., p. 120 et p. 190). Il explique le processus de fossilisation par l'immanence de « quelque semence congélative » ou de « substance generative » (ibid., p. 182 et p.195). Et dans son modèle explicatif de pétrification, il contourne, grâce aux semences, la difficulté qui résulte dans la dispersion des coquilles fossiles éloignées des côtes marines et jusque dans les plus hautes montagnes. Il la résout par cette même vertu que possèdent les pluies qui arrosent les reliefs et peuvent former des cuvettes d'eau plus ou moins permanentes, la vertu de posséder des « semences & humeurs apportées par les pluies » (ibid., p. 195). Nous sommes surpris

¹⁶⁶ Cependant, notons qu' une récente découverte scientifique, dans le Sahara et datée du Quaternaire, rend possible la conception de lacs salés intracontinentaux (Plaziat, 1997, p. 23)

aujourd'hui par cette conception des semences des pluies qui peuvent engendrer des crapauds, des grenouilles, des poissons, des arbustes et des herbes à tout endroit sur terre même les plus élevés ! De plus **une analogie est conçue avec le monde végétal par le concept de semence**. Celle des métaux est liquide, invisible et indétectable comme le sel dissous et elle ne révélera sa diversité de forme et de couleur qu'après son passage à l'état solide. Et pour terminer sa démonstration didactique il l'appuie à plusieurs reprises par l'analogie avec le monde végétal comme les élèves de CM1 y ont eu recours « Regarde les semences, quand tu les jettes en terre, elles n'ont qu'une seule couleur, & en venant à leur croissance & maturité, elles se forment plusieurs couleurs, la fleur, les feuilles, les branches, les rameaux & les boutons, seront toutes couleurs diverses » (Palissy, *ibid.*, p. 126) ou encore « tout ainsi que tu vois toutes espèces de fruits changer de couleur en leurs croissances & maturités » (*ibid.*, p. 127).

De plus c'est **l'omniprésence de « sel génératif » ou d'une « vertu générative »** qui explique la solidité des différents éléments de la nature « le sel est la tenue & mastic génératif & conservatif de toutes choses : [...] tu trouveras que toutes coquilles pétrifiées sont plus dures que la masse de la pierre où elles sont, & pour ce cause qu'il y a plus de matière salsitive » (*ibid.*, p. 195). Tout son raisonnement de pétrification est fondé sur « la vertu salsitive » des poissons, entendons par là que le corps du vivant est soutenu par des sels et aussi grâce à la présence d'un « sel génératif » dans les eaux de la vase qui peut ainsi se solidifier et solidifier en synergie le poisson mort enfoui. Cette « vertu générative », possédée par le milieu aqueux vaseux et le corps des poissons, représente la « cause efficiente » opérant la solidification ou « congélation » et leur changement en nature minérale.

Mais ces sels¹⁶⁷ sembleraient avoir un caractère mixte, à la fois comme principe fonctionnel « mastic generatif » et comme élément défini « matière salsitive ». Et ce sont les semences qui semblent accorder aux sels leurs propriétés. Cette **ambiguïté et parfois même la synonymie entre principe, qualité de la matière, et élément, constituant de la matière**, est entretenue par la confusion fréquente entre les deux termes, semence et sel. En effet Palissy jongle entre différentes terminologies qui les allient, la « semence salsitive » ou le « sel génératif » ou encore « la semence du sel liquide » et différentes terminologies qui les séparent, la « semence générative » ou le « sel congélatif ». Palissy distingue les matières terrestres, sulfurées et spirituelles et les propriétés respectives de lapifier ou congeler, calciner et évaporer dans son glossaire des *Discours admirables*. Dans cette classification, les sels et les semences appartiennent aux matières terrestres et sont les causes nécessaires à la solidification. Les matières sulfurées s'en distinguent par leur propriété de brûler. Quant aux matières spirituelles, elles auraient plutôt leur équivalent parmi les quatre éléments

¹⁶⁷ Les sels au sens de Palissy sont différents des solutions salines d'aujourd'hui ou des résultats des réactions acide-base du siècle des Lumières. Ils s'apparenteraient aux sels de Paracelse qui est un principe de solidité dans la Tria prima des alchimistes – les deux autres agents réactionnels sont le soufre, principe de combustion ou d'inflammabilité et le mercure principe de matérialité ou de liquidité (Lecornu-Lehman, 2006, p. 324). Notons que la synonymie entre principe et élément perdure jusqu'au XVIII^e siècle (*ibid.*, pp.320-333)

aristotéliens dont l'air chaud et humide par opposition à la terre froide et sèche. Aussi **l'originalité de Palissy est de concevoir que la semence est totalement matérielle**. Sels et semences sont liés dans un principe mixte, celui du sel générateur. Il est responsable de la congélation ou solidification et de la génération. Il est aussi le constituant fondamental du cinquième élément ou « eau salée » qui matérialise en définitive le concept de semence (Hiraï, 2005, p. 346). Selon H. Hiraï, une double influence est décelable dans les écrits de Palissy (2005, pp. 327-349). D'une part, l'alchimie de Paracelse mêlée à sa pratique industrielle du sel marin et à son art céramique pourrait avoir accordé une importance considérable aux sels dans la théorie de Palissy. D'autre part, le pan-vitalisme de Cardan et l'origine divine des semences de métaux et de minéraux de Paracelse pourraient avoir agi sur l'idée d'une loi uniforme, végétative des trois règnes de la nature. Il se pourrait que la pensée mixte de Palissy soit un mélange entre les principes actifs paracelsiens et les éléments aristotéliens. Ceci serait corroboré par une théorie émergente des « cinq principes » dont l'origine serait due à un physicien contemporain de Palissy, Joseph Du Chesne¹⁶⁸. Dans sa doctrine, deux éléments aristotéliens, la terre et l'eau, sont ajoutés aux trois principes actifs paracelsiens, sel soufre et mercure (Lecornu-Lehman, 2006, p. 324). Or ce mélange de terre et d'eau constitue la clef de voûte du système de Palissy. Empiriquement, il sert de base à la fabrication de ses poteries et théoriquement il parle d'eaux métalliques qu'il nomme « cinquième élément » et qu'il distingue des eaux communes.

Voyons ce que révèle **l'existence d'un cinquième «élément», l'eau germinative**, dans le modèle explicatif de Palissy. S'intéressant à démontrer la nature et l'origine des coquilles, des poissons ou des bois fossiles, il ne peut le faire sans chercher à expliquer le passage possible entre le monde vivant et le monde minéral. A la recherche d'un ou de plusieurs processus, voici quelle est sa démonstration de l'existence de ce cinquième élément : tout cristal ou pierre à pointe ou à face n'a pu se former qu'au milieu des eaux communes à partir de matières aqueuses n'ayant aucune affinité avec elle comme l'huile se sépare de l'eau ou comme les sels dissous s'en séparent aussi. Cette « congélation¹⁶⁹ » différentielle prouve que le cristal est formé d'une eau d'un autre genre que les eaux communes. En conséquence ces deux types d'eaux doivent être aussi séparées nominativement comme elles le sont par

¹⁶⁸ Joseph du Chesne (1544-1609) est chimiste, médecin et diplomate français. Médecin du Duc d'Anjou puis d'Henri IV, il s'était converti au calvinisme lors de son mariage en 1570. Sa théorie des cinq principes sera reprise par Etienne de Clave dans son cours de chimie au milieu du XVII^e siècle. Etienne de Clave (1620, ?), médecin chimiste, professeur au jardin du roy défendait la thèse des semences pétrifiantes en 1635 dans son ouvrage intitulé *Paradoxes ou Traités philosophiques des pierres et pierreries*. Reprenant cette thèse de l'alchimiste Libavius (1550-1616) expliquant la génération spontanée de tous les éléments minéraux terrestres, il défendait l'idée d'exhalaisons souterraines chargées d'« un pouvoir séminal » engendrant des semences mâles et femelles susceptibles de s'unir pour former une graine capable de former un « fossile » au sens large. Il défendit aussi la doctrine des cinq éléments en chimie.

¹⁶⁹ C'est-à-dire la solidification à cette époque comme Palissy prend la peine de l'expliciter dans son lexique des « mots les plus difficiles », « congeler se dit de toutes choses qui s'endurcissent après la fonte : comme les eaux s'endurcissent au froid » (1580 /2004, p. 320)

principe fonctionnel dans la nature : « nous pouvons donc assurer qu'il y a deux eaux, l'une est exhalative & l'autre essencive, congélative & générative, lesquelles deux eaux sont entremêlées l'une parmi l'autre, en telle sorte qu'il est impossible de les distinguer avant que l'une des deux soit congelée » (Palissy, 1580/2004, p. 119). La première eau a la propriété de s'évaporer et il la nomme parfois aussi « évaporative », la seconde eau est à l'origine de toute genèse et il l'appelle aussi, l'eau « germinative ou salsitive ». F. Ellenberger identifie une similitude entre cette eau générative de Palissy et la force séminale de Gassendi au XVII^e siècle (1988, p. 231). De fait, plus généralement, **une unité harmonieuse est recherchée entre le monde minéral et le monde vivant** qui sont réunis dans une même thèse chez Palissy. Le nouvel élément soluble dans l'eau, lui apportant odeur et saveur possède des propriétés parfois mystérieuses qui constituent le principe de genèse des minéraux, de la végétation, et même de la reproduction et de la constitution des êtres organisés

«le commencement & l'origine de toutes choses naturelles est l'eau : l'eau générative de la semence humaine & brutale n'est pas l'eau commune ; l'eau qui cause la germination de tous les arbres & plantes n'est pas l'eau commune, & bien que nul arbre, ni plante, ni nature humaine, ni brutale, ne saurait vivre sans l'aide de l'eau commune, il y en a une autre germinative, congélative, sans laquelle nulle chose ne pourrait dire je suis » (Palissy, 1580/ 2004, p. 120)

Finalement toute sa démonstration reste ancrée dans **un cadre épistémique de semence** pétrifiante de nature minérale, ou de semence animale ou végétale. Nous pouvons dire que Palissy, tout en soutenant l'origine organique des coquilles fossiles, mêle plusieurs théories pour expliquer la cause de la pétrification des animaux dans la terre. Et même si pour Palissy, l'origine et la nature organique du fossile sont indubitables, c'est l'agent de solidification des pierres qui est en cause. Il semble donc que l'idée d'eau germinative relève encore d'une réminiscence d'un cadre épistémique lié à une forme d'animisme. Il sert de principe général commun aux trois règnes pour expliquer la semence humaine, la germination des plantes et la pétrification. L'idée des semences traversera plusieurs générations de communautés savantes parfois selon un mode de raisonnement encore plus primaire et rétrograde que Palissy qui s'est approché de la vérité. Nous allons l'étudier maintenant dans ses rapports étroits avec la minéralogie.

8. 2.3 Le paradigme des semences, conséquence des idées en minéralogie de la Renaissance jusqu'au XIX^e siècle

Nous pouvons supposer des incidences entre les idées précurseurs en minéralogie et la compréhension des fossiles par le paradigme des semences. Le problème était déjà débattu **au Moyen-âge** de savoir si les animaux peuvent se transformer en pierre et, parfois, la

probabilité des animaux pétrifiés fut la première question soulevée¹⁷⁰ (Ellenberger, 1988, p. 91). **A la Renaissance et au XVII^e siècle**, le monde de la matière commence à être interrogé mais il interfère grandement avec le monde mystique de l'esprit sur la problématique de solidité des corps terrestres minéraux ou vivants. Dans ce second registre explicatif, tout semble converger vers le germe. Historiquement, la recherche d'une explication de la formation des pierres et des cristaux, par les semences minérales, était débattue essentiellement aux XVII^e et XVIII^e siècles. Le calabrais Campanella (1568-1636) croit encore à la génération des pierres selon la preuve que « les cristaux se développent selon leur forme comme les animaux selon leur espèce » (Gohau¹⁷¹, 1990a, p. 54). Pourrions-nous supposer une réminiscence du vitalisme à la Renaissance ? Le concept de semence est prégnant au XVII^e siècle – nous pouvons même parler d'une panspermie relatant une fécondité universelle et diffuse sur la Terre dès la création du monde « La Nature est conçue comme le grand sac du semeur qui contient ensemble pêle-mêle toutes les semences des choses naturelles » (Hirai, 2003, p. 209). Plus précisément le concept de semence minérale, développé par Gassendi et par Anselme Boèce de Boodt, serait issu de la croyance d'une semence métallique des alchimistes médiévaux et du fait que les sciences de la matière et de la vie soient étroitement mêlées – génération spontanée, préexistence des germes en embryologie (ibid., p. 211). D'après la recherche d'une filiation conceptuelle, le concept de semence serait postérieur aux doctrines aristotéliennes célestes et antérieur à la théorie neptunienne triomphante d'Agricola mobilisant des sucs minéraux (Hirai, 2005, p. 15). Ces conceptions philosophiques liées à une cosmologie métaphysique encore fort éloignée du registre scientifique sont difficilement compréhensibles par notre pensée commune d'aujourd'hui.

Rappelons que nous avons laissé de côté **le dialogue sur les fossiles de J-B. Du Hamel**, car il était centré sur les pierres puisque les fossiles étaient pris au sens élargi étymologique. Cependant l'auteur fait appel explicitement à la théorie du germe pour les fossiles, au sens restreint actuel, par la voix d'un de ses personnages, Simplicius

« j'appelle « esprit » une substance extrêmement subtile, dont le rôle est d'affermir un corps déterminé. Les corps donc, saisis par cet esprit, deviennent des pierres, ils sont durcis comme par une vision de Gorgone, lorsque le suc pétrifiant s'enfonçant dans les pores du corps et y pénétrant profondément, prend possession de chaque petit corpuscule et les unit. Ainsi on trouve en Bohême des arbres changés en pierres [...] Il y a un cours d'eau en Auvergne, dont le lit pétrifié grossit peu à peu, du fait que les eaux pleines du germe lapidifiant le durcissent. D'où vient, s'il te plaît, que des coquillages pétrifiés se trouvent loin de la mer, et même dans les montagnes, sinon que la nature, ou l'esprit de l'univers, qui imprègne toute chose, ne s'interrompt jamais, suit les idées ou les processus séminaux qui sont

¹⁷⁰ F. Ellenberger cite Un manuscrit dans lequel P. Duhem offre la transcription d'un quolibet -débat autour de questions libres- organisé par deux enseignants de la faculté des Arts de Paris, Henri de Bruxelles et Henri L'Allemand.

Cf aussi Duhem, P. (1959). *Le système du monde- Histoires cosmologiques de Platon à Copernic* (tome IX). Paris : Hermann.

¹⁷¹ Extrait d'une citation de P. Lenoble (1954). La géologie au milieu du XVII^e siècle. *Conférence du palais de la découverte*, Alençon.

imprimés en lui, qui ne sont rien d'autre que des traces d'idées, et forme des coquillages à partir du suc lapidifiant ? Est-ce que par hasard la terre, ébranlée par de grands mouvements, ne s'entrouvre pas parfois, et alors des poissons ou des coquillages en sortent, que l'esprit ou le suc pétrifiant durcisse ? [...] cet esprit nitreux est infus dans la nature entière : de sorte que c'est en lui qu'on trouve la vertu de procréer et la cause de l'engendrement : il est certainement pourvu d'une vertu prolifique et reproductrice en soi. » (Annexe 12, traduction de Du Hamel, 1660, livre 2, chap.6, Simplicius pp. 196-197)

Ainsi, la richesse des fossiles dans les montagnes est expliquée par une vie souterraine aquatique actuelle cachée dans les entrailles de la terre. Du Hamel, fortement inspiré de Gassendi à travers les paroles de Simplicius, fait référence aux passages de Sénèque¹⁷² sur les immenses réservoirs d'eaux souterraines cachées dans les flancs des montagnes et qui alimenteraient les fleuves. Ce philosophe romain défend la thèse d'un monde parallèle, d'une vie souterraine aquatique, dans lequel des poissons et coquillages vivants naissent et se développent, réapparaissant à la surface terrestre à la faveur des sources jaillissantes à l'occasion de séismes. L'unité entre le monde minéral et vivant est recherchée principalement sous l'angle de l'analogie avec les semences d'animaux ou de plantes. La reproduction est une fonction essentielle qui a pour cause une vertu procréatrice « procreandi vis » ou prolifique « vis prolifica » et pour effet d'engendrer « causa gignendi » un nouveau corps terrestre minéral ou organique. Pour Simplicius la Nature est un tout organisé par Dieu qui active une force plastique séminale et son action est généralisée aux innombrables formes minérales, végétales et animales. La préexistence de semences spécifiques et une matière dans un milieu approprié permettent leurs naissances spontanées. A l'idée d'un germe lapidifiant «germino lapidifico » encore empreinte de mythologie par Simplicius s'oppose l'idée d'un suc pétrifiant « succus lapideus » par Théophile se référant à l'opinion commune

« comme si les pierres, à la manière des plantes, étaient dotées d'une force séminale et formatrice. La pierre n'engendre pas la pierre, et cette force séminale est un pur produit de l'imagination et inutile, quand bien même la matière des pierres pourrait être transmutée par la seule chaleur, ou par le froid. [...] Dans quel but avoir recours aux causes premières, universelles, et cachées, alors qu'il y en a de bien plus proches, et qui se tiennent à portée de main. C'est un fait que toutes les pierres, la chaleur ou le froid ou enfin le suc lapidifiant, les durcissent ; soit que ce dernier pénètre dans les conduits des corps, soit qu'il recouvre des herbes ou des animaux et les couvre d'une croûte [...] Et il n'existe dans le milieu même aucune force efficiente des pierres : bien que le milieu leur donne peut-être forme : car le suc lapidifiant prête aux pierres la figure de leur propre lieu ; de sorte qu'il n'est pas nécessaire de faire appel à un esprit des pierres, ni à des processus séminaux. Non pas que nous pensions que toutes les figures de toutes les pierres doivent être déterminées par un lieu : mais en partie la matière des pierres s'adapte à la configuration du lieu, comme à celle d'un vase » (Annexe 12, traduction de Du Hamel, 1660, livre 2, chap.6, Théophile pp. 186-187)

La controverse principale consiste en une mise en tension entre des principes a priori sous l'influence antique, telle une force latente et créative nommée force plastique, et des faits observés a posteriori dans la nature, tel le suc lapidifiant et les sels. A des repères sensibles et phénoménologiques s'opposent des repères occultes et spirituels pour expliquer la genèse des pierres et des fossiles. Au suc lapidifiant -sucus lapidificus- matière nécessaire et suffisante

¹⁷² Sénèque (-4_+65), traduit par F. & P. Richard (1935). *Naturales quaestiones* Ou Recherches sur la Nature, livre III, chapitre 19

pour Théophile, est opposée la nécessité supplémentaire d'une force mystérieuse nommée aussi esprit lapidifiant -vis lapidifica-, cause suprême qui génère les pierres pour Simplicius. De plus, l'idée de hasard s'oppose à un déterminisme. En ce sens, Théophile est affilié comme disciple d'Agricola¹⁷³ car il reprend les grandes idées de ce dernier analysées par F. Ellenberger (1988, pp. 207-208). Et Simplicius peut être affilié à un philosophe et physicien, Gassendi¹⁷⁴, contemporain de Descartes et de Du Hamel, que F. Ellenberger (1988, pp. 224-232) réhabilite comme précurseur de la géologie. Comme lui, il envisage la nécessité d'une force lapidifiante également séminale.

Au XVIII^e siècle, l'origine et la nature des fossiles peuvent être en lien avec l'origine des pierres et des montagnes, conçue comme une végétation affiliée à une forme de pensée animiste. C'est le cas de la théorie de F.-M. Pompée Colonna (1646-1726) qui pousse l'analogie avec la croissance d'un végétal par les paramètres nécessaires à cette végétation des montagnes, l'humidité associée aux éléments terrestres tous deux activés par la chaleur. C'est le dessèchement qui durcirait la montagne et arrêterait sa végétation. G. Gohau cite un passage intéressant de cet auteur (1990a, p. 54-55)

« Je suis porté à croire que les montagnes végètent et qu'une partie de celles que nous voyons à présent ont végété sur la terre comme les arbres. [...] Ce qui surprendra peut-être le spectateur, c'est qu'il n'est pas facile de comprendre qu'un rocher puisse s'élever et végéter à sa manière, parce qu'on ne voit pas quand il se forme mais bien quand il est déjà formé » (F.-M. Colonna, 1734, *Histoire naturelle de l'univers*, Paris : A. Cailleau. 4. -vol., tome 1, pp. 204-205)

Ainsi, Colonna relativisait les observations possibles à l'échelle humaine et les phénomènes nécessitant un temps suffisamment long pour que l'homme n'assiste qu'aux résultats. Le cadre épistémique serait l'équilibre de la nature, défendu par Aristote et son école péripatéticienne. Les végétaux comme les montagnes, les pierres et les fossiles nous montrent des signes à la fois de dépérissement - vieillissement et dessèchement - et de rajeunissement – vie et humidité- qui confèrent à la nature une éternité. Ainsi le monde est pensé comme éternel selon deux thèses, celle aristotélicienne –équilibre de la nature et monde éternel- et celle platonicienne –monde en déclin et régénération par une révolution.

Enfin au XIX^e siècle, dans sa leçon inaugurale effectuée au Muséum d'Histoire naturelle de Paris en 1801, Dolomieu (1750-1801) parle d'« espèces minéralogiques » qui se reproduisent à la façon des êtres vivants. Quant à Daubenton et Lamarck, ils préfèrent parler de « sortes de minéraux » car, pour eux, ils ne se reproduisent pas. Quant à Romé de l'Isle, en 1772, il parle de molécules intégrantes, dérivées d'une forme primitive cristallographique unitaire par

¹⁷³ Agricola (1494-1555), G. Bauer, naturaliste saxon de la Renaissance a revalorisé les savoirs pratiques miniers. Son livre édité en 1546, *De natura fossilium*, premier traité de minéralogie classant la diversité des fossiles -sens premier élargi- nous intéresse plus en intégrant des espèces paléontologiques. Dans son ouvrage posthume, 1557, *De re metallica*, il fait une description précise d'une séquence des bancs sus-jacents d'une couche cuprifère à Mansfeld, et il s'étonne de la découverte d'empreintes de poissons et de végétaux.

¹⁷⁴ Gassendi, P., 1592-1655. (1658). *Opera omnia*, tome 2(section III, chapitres I-III De lapidibus ac metallis, pp. 114-122), réimprimé en 1964 à Stuttgart. Notons que Du Hamel est un cartésien convaincu alors que Gassendi s'est opposé aux concepts mécanistes des Descartes.

homothétie, pour réfuter la théorie des germes de Robinet (Gohau, 2004). Pour certains - Tournefort, Venette, Robinet- cette régularité et cette fréquence des cristaux dans les couches terrestres ne peuvent s'expliquer que par l'hypothèse des germes. Alors que pour d'autres – Romé de l'Isle, Daubenton, Lamarck - la théorie des germes est irrecevable car elle associe nécessairement un accroissement par intussusception en opposition à une juxtaposition. Dolomieu ne valide pas l'idée du germe mais l'idée que les cristaux se reproduisent dans leur forme et leur constitution. Lamarck changera d'avis d'ailleurs en 1797 juste avant de devenir transformiste¹⁷⁵ (ibid.). En conséquence, si le monde minéral peut se former par germe, pourquoi ne serait-ce pas aussi le cas pour les fossiles ? On serait donc encouragé à considérer comme paradigme, le cadre épistémique des semences et on ne peut comprendre les fossiles tant qu'on n'a pas résolu aussi les minéraux. Admettre, par nécessité, la nature organique des fossiles n'est donc pas une résolution définitive, et leur origine peut être, à nouveau, soumise au doute. Effectivement nous avons repéré dans un dictionnaire du XIX^e siècle (Jehan, 1854, pp. 1058-1072) une conception anachronique –très surprenante rétrospectivement- de fossiles en terre en attente d'une naissance potentielle. L'abbé Pachon, prêtre en Savoie, s'adresse à « Messieurs les géologues » en voulant lutter contre leur « doctrine », qui renferme des difficultés insolubles, et ruiner leurs « utopies ». Il veut faire connaître l'origine véritable et merveilleuse des plantes et animaux pétrifiés que ceux-ci ont découverts. Son système est conçu, telle une inversion du système actuel, puisque le passage se fait du minéral au vivant et non du vivant au minéral, avec l'analogie de l'animal ou de l'homme engendrés dans le sein d'une mère nourricière

« Les plantes et les animaux sont pétrifiés depuis la superficie jusqu'au centre des rochers, des montagnes, jusqu'à une profondeur inconnue. [...] une abondance prodigieuse de plantes et d'animaux étaient par cela même destinés à rester fossiles, à orner, embellir les couches régulières, à former un vaste museum sous les royaumes et les empires : ce sont les plantes et les animaux pétrifiés [...] l'on conviendra qu'il y a moins d'inconvenance à ce que les deux règnes soient privés de la vie avant de l'avoir reçue qu'après l'avoir possédée [...] ils ont existé informes avant de recevoir leurs dernières perfections afin d'entrer ainsi dans le plan de toutes les créatures. » (Pachon, 1850, pp. I-III).

Pachon effectue une lecture littérale des textes bibliques, les plantes et animaux pétrifiés existent dès le premier jour de la Création, et ils ont reçu la vie aux 3^e, 5^e et 6^e jours selon le projet merveilleux du « grand Architecte ». Créés en surabondance, les fossiles informes ne servent qu'à attester la beauté de la création originelle comme si l'Artisan créateur avait droit aux essais. Dans ce cas, le lien entre l'obstacle animiste et artificialiste est fort.

¹⁷⁵ Lamarck, J.-B. de Monet de. (1797). *Mémoires de physique et d'histoire naturelle, établis sur des bases de raisonnement indépendantes de toute théorie [...] ; sur l'origine des minéraux ; et sur l'organisation des corps vivans. Lue à la première classe de l'Institut national, dans ses séances ordinaires*. Paris : Maradan & Agasse. C'est le dernier ouvrage de l'auteur présentant une pensée non transformiste.

Conclusion chapitre 8 : lien entre problématisation et obstacles épistémologiques en histoire des sciences

Des problématisations différentes associées à une pensée animiste

En lien avec la conception animiste nous nous sommes intéressés principalement aux germes des pierres et des fossiles. Dans ce sens **l'obstacle animiste des semences** envisagées à différents niveaux de pensée dans le processus de fossilisation, **réapparaît donc sous diverses formes de la Renaissance au XIX^e siècle**. Et il prend ses sources dès l'antiquité (Bouillet, 1986). Il est étonnant de constater que cette explication d'ensemencement et de germes traverse tous les siècles. L'idée principale qui les relie est celle d'un passage ou d'une continuité entre le monde minéral et les mondes végétal et animal. En définitive nous sommes tentés d'envisager une filiation entre l'eau germinative épigénique à la Renaissance, l'esprit lapidifiant séminal au XVII^e siècle, la végétation spontanée des coquilles fossiles au siècle des Lumières et pour finir la création originelle des fossiles d'animaux et de plantes pétrifiés qui perdure encore jusqu'au XIX^e siècle ! Présentée ainsi, cette filiation erronée semble offrir une vision rétrograde de plus en plus élargie alors qu'elle devient en fait de plus en plus anachronique.

En effet, **des problématiques mobilisent différemment l'idée de semence**. Pour la problématique de génération des pierres, mise en dialogue aux XVI^e et XVII^e siècles, nombreux sont les modèles explicatifs qui ont recours aux semences. Même si Palissy a resserré sa réflexion sur la pétrification des coquilles d'origine organique, il mobilise dans sa thèse un suc lapidifiant, pourvu d'une puissance séminale ou germinative permettant la fossilisation. Même si cette force plastique ne concerne que l'encaissant et non le fossile proprement dit, contrairement à la conception de « jeux de la nature » -*lusus naturae*-, lui aussi est influencé par les idées des germes. C'est pourquoi Palissy parle de « sels générateurs » ou d'« eaux germinatives » - autrement dit des eaux salsitives ou congélatives pour les solutions minérales. Quant à Du Hamel il engage la discussion dans une problématique beaucoup plus large, la solidification de tout élément de la nature –pierre, coquille, corail, os, arbre-. Et il fait appel, par la voix de Simplicius, à un « esprit ou germe lapidifiant » qui anime un suc lapidifiant. Dans tous les cas, matière et principe, sont mis en tension pour expliquer l'existence de pierres et de fossiles. Dans tous les cas une controverse est déclenchée entre les processus de juxtaposition et d'intussusception pour la formation des coquilles fossiles. La conception des semences fonde un cadre épistémique animiste prégnant qui s'oppose à un cadre épistémique matérialiste émergent. Alors que la théorie récurrente de La Sauvagère au siècle des Lumières peut être considérée comme un anachronisme partiel dans la mesure où la communauté scientifique finit par admettre la nature des coquilles fossiles comme issue de vivants passés et leur origine marine pour la plupart. C'est pourquoi

le problème de La Sauvagère et de Voltaire est un problème inconsistant pour Guettard. Il revêt un caractère illicite par rapport au nouveau paradigme de la nature organique des anciens vivants admis. Et la nouvelle problématique de déplacement des mers effraye l'entendement de Voltaire comme de La Sauvagère, ce dernier préférant se retrancher dans une conception dépassée animiste. La théorie générale de végétation spontanée de germes de coquilles fossiles par La Sauvagère apparaît plus rétrograde que celle de pétrification d'anciens êtres vivants par une eau germinative selon Palissy. Puisque selon La Sauvagère, la force créative latente dans la terre concerne la roche encaissante et le fossile créé au hasard. La Sauvagère allie « germes de coquilles fossiles » et « jeux de la nature ». Or ces deux conceptions ne sont pas fréquemment confondues chez les auteurs qui les mobilisent (Ellenberger, 1988, p. 194), la première cherchant une régularité et une répétition d'un modèle explicatif alors que la seconde est référencée au hasard et donc détachée d'une loi. Ainsi cette frontière entre le monde minéral et le monde organique reste en pleine réflexion. Trois hypothèses se succèdent et interfèrent encore tout au long du XVIII^e siècle, les jeux de la nature, les pétrifications de vivants et les semences. Ce sont à la fois des chimistes (Rouelle, Venel), des minéralogistes (le baron D'Holbach) et des naturalistes (Réaumur, Guettard, Buffon) qui se mobilisent sur cette problématique et l'officialisent par de nombreux écrits surtout en cette deuxième moitié du XVIII^e siècle. Et au-delà du processus de pétrification encore mystérieux, la question qui taraude les naturalistes est par rapport à la structuration du temps : la durée de transformation du vivant au fossile « c'est une question très-importante parmi les Naturalistes, que de savoir combien la Nature emploie de tems pour pétrifier des corps » et l'âge d'un fossile « Feu l'Empereur, Duc de Lorraine[...] a souhaité qu'on découvrit quelque moyen pour fixer l'âge des pétrifications » (Valmont de Bomare, 1768-1769, tome 8, p. 391). Enfin complètement anachronique apparaît la conception créationniste de Pachon, sur laquelle Jéhan prend la peine de faire un long article dans son *Dictionnaire de Cosmogonie et de paléontologie* au milieu du XIX^e siècle. Dans ce même ouvrage, en 1854, sont mêlées les pensées religieuses, dont l'idée insolite de naissance potentielle de fossiles en terre, et l'explication des concepts scientifiques, les couches géologiques, les fossiles identiques, analogues et perdus, les divers processus de fossilisation par incrustation ou substitution, etc. Cette proximité peut nous surprendre aujourd'hui.

Les différents auteurs s'étant intéressés plus spécifiquement aux fossiles, Palissy, Du Hamel, La Sauvagère soutenu par Voltaire, et Pachon, resitués dans leur temps et dans l'évolution de la pensée scientifique, montrent malgré tout que le même problème resurgit, tant qu'on ne se convainc pas que les fossiles sont issus des êtres vivants. Dans son histoire de la géologie Jéhan alerte le lecteur « les retours fréquents à des erreurs plusieurs fois combattues, et l'abandon de certaines opinions aussi judicieuses que saines pour des idées de la dernière absurdité » (Jéhan, 1854, p. 617). Guettard lui aussi avait déjà constaté les multiples réapparitions « des systèmes sur la formation des coquilles, qui n'ont pas plus de solidité, que

plusieurs autres qui ont été mille fois péremptoirement réfutés & renversés, & qui, comme les têtes de l'hydre de Lerne, reparoissent de temps en temps, mais avec quelques changements » (Guettard, 1783a, p. 5). Quelle belle métaphore pour expliciter la ténacité d'un obstacle épistémologique !

Le réseau des obstacles associés au paradigme des semences

L'obstacle le plus fréquent en histoire des sciences appartient au registre religieux qui empiète sur le registre scientifique pour imposer un cadre de raisonnement. L'analogie avec les vivants actuels sert de base à la logique scientifique, la mobilisation d'un Architecte suprême rend possible toute uniformité et passage entre les mondes minéraux et vivants, tout comme l'avait mobilisé La Sauvagère

« On peut comparer cette poussière que nous appelons les germes de pierres aux semences de plusieurs plantes [...] Qui est-ce qui peut douter que l'Auteur de la nature qui a renfermé dans le germe d'un œuf d'un quart de ligne de volume le poisson Narwal, que l'on appelle Licorne de mer, & qui a plus de 20 pieds de long, n'ait pu renfermer un banc de pierre dans un germe de la grosseur d'un grain de sable » (Tournefort, 1702, p. 240).

Ainsi la conception animiste des semences peut être associée à une **conception créationniste et artificialiste** sous-jacente décelable parfois dans le questionnement explicite de ce même savant

« Comment comprendre que la corne d'ammon, qui constamment a la figure d'une volute, puisse se former sans un germe qui refferme en petit la même structure ? Qui est-ce qui l'aurait moulée si proprement ? [...] on n'a jamais trouvé ni moule ni rein d'approchant [...] Il en faut juger de même, ce me semble de la pierre Belemnite, que l'on appelle Lapis Lyncis.[...] Une telle structure suppose des germes ou des moules. Ces moules ne se trouvent point, & qui est-ce qui les casserait pour en dégager ces pièces ? » (Tournefort, 1702, pp. 230-231).

Si la foi et la raison recourent simultanément à la recherche d'une explication, alors nombreux et résistants peuvent être les errements. La conception animiste des germes peut être aussi très nettement affiliée à une **conception préformiste** transposée à tous les corps solides –os des animaux, branches des arbres, coquilles, stalactites, cristaux, pierres-

« Ne vaut-il pas mieux supposer des espèces d'œufs, puisque tout le monde convient que les semences des plantes sont aussi-bien des œufs, que les parties des oiseaux ou des poissons, à qui de tout temps on a donné ce nom ? Et qu'est-ce qu'un œuf, si ce n'est l'oiseau, le poisson, la plante, & peut-être la pierre en miniature ? » (Tournefort, 1702, pp. 233-234).

L'obstacle créationniste se traduit aussi par une **conception animiste et fixiste**. Elle empêche d'une part d'envisager la disparition des espèces, niée fermement par Guettard. Et tant que les « anciens mondes » et les « espèces perdues » par refroidissement du globe, selon Buffon, ne seront pas acceptés, le problème des espèces disparues et leur rapport au temps ne pourra être posé. D'autre part la conception fixiste empêche d'envisager des paysages différents de l'actuel. Or tant que les reliefs montagneux sont conçus comme permanents, le problème des coquilles fossiles sera maladroitement posé. La fissuration convergente d'une conception fixisme s'effectue au siècle des Lumières mais reste timorée : même si les côtes marines

restent globalement maintenues, le mouvement actuel du fluide marin permet de penser des mouvements de plus grande ampleur mais unique, éphémère et catastrophique (Burnet, Woodward) ; les rivages côtiers peuvent s'être modifiés dans la mesure où le terrain est plat et peu éloigné de la mer comme en Touraine (Réaumur, Guettard, Buffon). Mais seule l'acceptation des bouleversements aussi des reliefs montagneux pourra alors faire évoluer la problématique de l'origine des fossiles (De Sauvages, Bertrand). De même faire entrer les fossiles dans une histoire longue de la Terre devient une nécessité. Ainsi, Élie Bertrand restait perplexe quant à l'incroyable abondance et diversité des coquillages fossiles et des pierres figurées « qu'il ne paroît pas possible que ces animaux eussent jamais pû vivre à la fois, & l'on a jamais aperçu de mer, où ils aient été en si grand nombre » (Bertrand, 1752/1766, p. 18). L'acceptation d'une origine organique des fossiles ouvre alors sur de nombreux problèmes difficiles à admettre à l'époque. Quand il revient sur ses premiers écrits dans la nouvelle compilation de ses différents mémoires il ajoute en note de bas de page ce dilemme scientifique auquel il accepte d'être confronté sans pour autant pouvoir trancher

« j'ai changé d'idée & reconnu qu'il n'étoit pas possible de nier que les pétrifications des corps marins n'ayent été des corps animés ou Végétaux, qui ont en effet appartenu à la mer. Est-ce depuis le Déluge que ces fossiles accidentels se trouvent dans le sein de la terre ? C'est ce qu'il n'est pas aisé de décider. Si le monde étoit plus ancien que les monuments historiques ne semblent l'établir ; s'il étoit bien démontré qu'il soit arrivé des changemens au centre de gravité du Globe, ou à l'inclinaison de son Axe ou à la position de son Ecliptique, nous trouverons dans ces changemens la cause d'un mouvement successif des Eaux de la Mer sur la surface de la terre & l'origine de ces dépouilles marines ensevelies presque partout » (Bertrand, 1752/1766, pp. 74-75).

Ce qu'il résoudra en concevant trois temps et trois causes de formation de la structure interne de la Terre, le miracle d'une création originelle, le Déluge universel puis des « dérangements particuliers et des changements successifs » (ibid., pp. 71-72). De même Buffon marque un saut conceptuel entre son premier ouvrage sur la Terre (Buffon, 1749) et son dernier ouvrage *Les époques de la nature* en 1778. En effet dans sa première histoire de la Terre, il expose les preuves d'une théorie de la Terre basée sur le refroidissement de la planète mais sa vision cyclique d'une nature éternelle n'avait rien d'historique. C'est seulement en envisageant un temps long qu'il put alors justifier une véritable chronologie géologique. Il l'estima, expérimentalement, entre 75 000 ans et presque 3 millions d'années -âge officiel annoncé publiquement dans *les Suppléments* (1778/1839, tome 1, pp. 313 et suivantes) et âge maximal estimé dans le manuscrit correspondant (Roger, 1962, p. 45)-. Le découpage des temps géologiques, en sept époques distinctes par Buffon, peut être considéré alors d'une durée raisonnable pour couvrir les différents événements nécessaires au globe terrestre attestés par les fossiles, dont l'apparition de la vie aquatique végétale et animale à la troisième époque ainsi que les trois dernières époques vécues par des espèces différentes de grands mammifères terrestres méridionaux puis septentrionaux. Une véritable frise historique est construite et « Buffon devient historien de la terre » (Gohau, 1990b, p. 203). Rappelons combien Voltaire finit par se dire effrayé de cette nécessaire immensité des temps « Si quelques petits fragments de coquilles, mêlés à la terre marneuse, étoient réellement des coquilles de mer, il

faudrait avouer qu'elles sont dans cette falunière depuis des temps reculés qui épouvantent l'imagination » (Voltaire, 1768/1879, p. 153). Trente ans plus tôt, Il avait pourtant estimé un âge de la Terre, d'une très longue durée, originale pour cette époque, d'environ deux millions d'années (Gohau, 1990b, p. 152). L'entrée en histoire géologique est à cette condition.

Quand l'obstacle animiste est dépassé par une problématique nouvelle

Dans ce milieu du siècle des Lumières les sectateurs et les détracteurs de la théorie des semences sont donc nombreux à s'affronter. L'un des opposants P. Barrère, médecin de la Société Royale des Sciences de Montpellier réfutait cette vaine théorie « Il n'est plus question aujourd'hui des sémences des Pierres figurées, des moules indépendans des corps organisés, des formes Plastiques, des jeux de hasard, anciennes hypothèses qu'une Physique stérile avoit autrefois adoptées » (Barrère, 1746, pp. 22-23). C'est sur le terme de « stérile » que nous voudrions revenir car même si cette hypothèse a été une impasse dans le cheminement scientifique elle n'en a pas été moins productive par les désaccords déclenchés et les argumentations avancées. Elle peut aussi être considérée comme le moteur de recherche d'une autre vérité. Ces obstacles épistémologiques semblent être des passages obligés qui à un moment donné permettent la transformation en problèmes nouveaux. L'obstacle animiste dans la mesure où il n'est pas consensuel va être soumis fréquemment à la critique. Et l'intérêt d'une discussion critique et scientifique est de transformer cet obstacle en problèmes clarifiés pour les rendre visible à la collectivité ou à la conscience individuelle. **La rupture méthodologique annoncée au XVIII^e siècle est de ne plus convoquer une entité immatérielle, omnipotente dans le champ des explications rationnelles.** Buffon énonce clairement que la nature doit être expliquée uniquement à partir des ressources de la nature en 1778. Tout en étant très croyants, Palissy et Guettard s'éloignent des textes bibliques dans leur champ d'investigation scientifique. Cette mobilisation systématique du créateur comme explication suprême par La Sauvagère relance le problème de l'origine exogène ou endogène des fossiles auquel Voltaire et Guettard participent. Mais plus que la nature des fossiles, **c'est le déplacement des coquilles fossiles qui est bien la problématique principale du XVIII^e siècle** (Bignot, 1988). Et cette formulation courante pose maladroitement le problème, ce que traduit un énoncé parfois très personnifié « Qui peut avoir porté ces Poissons & ces Coquillages dans les Terres, & jusques sur le haut des Montagnes ? » (Fontenelle, 1703, p. 23). Il n'évoluera en problème scientifique d'une part que lorsque le mouvement ne sera plus impliqué aux coquilles fossiles mais à leur ancien milieu de vie et d'autre part lorsque la communauté savante s'en emparera. La question cruciale de La Sauvagère rejoint celle de Guettard « comment se découvre-t-il dans les entrailles de la terre des coquilles incorporées avec les rocs, qui ne se trouvent jamais parmi les marines (sous-entendu, actuelles) » (1776, p. 142). Mais en restant bloqué sur le postulat de l'origine céleste des coquilles fossiles et de tout corps organisé, La Sauvagère affirme leur nature minérale et reste noyé dans un

obscurantisme caractérisé. Alors que pour la communauté de naturalistes du XVIII^e siècle, le problème était déjà déplacé vers la diversité des processus de formation des coquilles fossiles ainsi que vers **les systèmes possibles de la Terre permettant de concevoir le déplacement des mers et la formation des montagnes**. Par opposition à J.-É. Guettard, prenons le cas d'un contemporain, F.-G. Rouelle (1703-1770) associé chimiste de l'Académie des sciences de Paris qui n'hésite pas à entrer en supposition théorique dans son cours, professé en 1757-1759 au Jardin du Roi, sur lequel nous allons nous appuyer (Lehman, 2007). Celui-ci est une légère variante de son cours magistral dicté à ses élèves parfois prestigieux comme Lavoisier et Monnet, que Guettard associera dans son ambitieux projet de cartographie minéralogique à partir des années soixante (Rappaport, 1967). En effet ce manuscrit du cours de Rouelle est très proche d'un autre manuscrit exploité par J. Gaudant (2004). Il lui est antérieur -le nombre de pages est plus conséquent mais étant lié à l'écriture de l'élève est-il pour autant plus complet ?- et surtout il aborde la géologie d'une façon intéressante dans le cadre d'une problématisation. Car même s'il affirme, dans l'introduction à son cours magistral, que « La chimie ne cherche pas de vains raisonnements, elle cherche des faits. » (1757, Vol. 1, p. 3), il n'hésite pas à entrer en hypothèses et conjectures suite à son analyse des pétrifications. Comme Buffon (1749) et Guettard, il ne doute plus de l'origine animale et marine des fossiles composant la plupart des roches calcaires (Rouelle, 1758, p. 20-21). Tout comme Guettard (1746), il admire la « symétrie », l'« arrangement », l'« organisation », bref la disposition non aléatoire des matériaux terrestres. Il différencie la terre primitive riche en métaux de la terre nouvelle. Et il leur associe, pour mieux les opposer, respectivement les couches inclinées des montagnes riches en métaux, des couches horizontales des vallons et d'autres montagnes riches en pétrifications et fossiles dont l'origine est celle des êtres organisés. Il avance que « ce dérangement est l'effet de quelque grand changement arrivé dans le globe » (Rouelle, 1758, Vol. 2, p. 17). Tout comme Guettard il conforte l'analogie entre les fossiles d'animaux ou de végétaux de France et leurs analogues vivant ou végétant actuellement en Inde ou dans les pays méridionaux. Alors indéniablement la mer des Indes recouvrait l'ensemble des plaines françaises de la Normandie aux Pyrénées. Le raisonnement jusqu'ici est similaire à la démonstration de Guettard. Par contre, il envisage deux temps de formation des roches –une terre primitive, une terre nouvelle-. Et il divise la France en amas fossilifère ou « tractus » -concept d'une zone géographique et géologique caractérisée par l'abondance d'un coquillage fossile, amas de buccins à Paris, amas de cornes d'Ammon en Normandie, amas de coraux à Dieppe et enfin amas de quadrupèdes. Gaudant nous rappelle l'innovation importante qu'il apporte par ce concept d'associations fossiles (Gaudant, 2004, pp. 90-91). Concernant ces amas fossilifères, Rouelle n'envisage pas à nouveau une chronologie de formation, mais il l'interprète comme une ancienne zonation biogéographique en se référant à l'actuel. Il ouvre, en plus, un questionnement sur l'origine de la formation de cette « nouvelle Terre » fossilifère. Ainsi offre-t-il la pluralité des hypothèses de l'époque en les discutant. Peut-on

prétendre que les cornes d'ammon n'existent plus à la surface du globe ? Elles n'ont d'équivalent que le Nautille et il refuse l'idée d'espèces disparues ou d'espèces vivant encore dans les mers très profondes –comme Guettard- car jamais les sondages profonds n'ont permis d'en remonter

« il est donc plus vray semblable d'imaginer qu'elle habite dans des pays qui nous sont inconnus ; et que c'est une espèce de nautille car elle respire comme les nautilles, puisqu'on y trouve des chambrés – autrement dit des loges- ; on peut dire à peu près la même chose des bélemnites qui est une espèce de corne d'ammon qu'on trouve dans les mêmes amas. » (Rouelle, 1758, p. 25).

Comment les coquilles des mers chaudes, les squelettes des « vaches marines » -fossile interprété d'abord comme appartenant à un morse puis à un parent de rhinocéros (Gaudant, 2004, p. 90)-, des baleines, et surtout les squelettes des animaux terrestres tels les élans de Montmartre, ont pu être conduits jusqu'à ces lieux de dépôts ? Pour le changement de climat il veut bien imaginer une variation de l'inclinaison de l'écliptique terrestre comme Whiston¹⁷⁶ sur lequel il s'appuie. Mais le problème principal qui l'embarrasse le plus est donc leur transport qu'il se refuse lui aussi d'accorder à une catastrophe diluvienne « Mais comment expliquer dans ce bouleversement la disposition régulière des différentes matières refermées dans les couches de cette terre, comment rendre raison du transport des coquilles des Indes dans nos climats » (Rouelle, 1758, p. 28). Il rappelle les systèmes imaginés par d'autres de ses contemporains sans pouvoir en valider un seul. Il y a contradiction avec l'idée de Woodward, celle d'un dépôt unique ordonnant les fossiles selon leur pesanteur et les observations de terrain

« Ce grand naturaliste avoit été trompé par les échines et les pates d'écrevisses qu'il avoit toujours trouvé à la surface de ces couches, et qui en effet sont les plus légères des substances qu'on y rencontre ; [...] d'ailleurs on remarque les mêmes êtres dans les entrailles de la terre ou près des corps les plus lourds ; [...] L'hypothèse de Woodward ne rend pas raison du transport des coquilles. C'est pour rendre raison de ce transport, que d'autres naturalistes ont supposé que les eaux du déluge dans leur mouvement ayant rencontré les gorges de certaines montagne avoient accéléré leur marche ; ce qui les avoit mis en état d'entraîner jusque chez nous les différentes matières, quelles couvroient dans les Indes : mais comment expliquer dans cette hypothèse l'ordre et l'arrangement de ces matières, pourquoi en se précipitant pêle mêle n'ont-elles pas gardée l'ordre de leur pesanteur spécifique ? » (Rouelle, 1758, p. 29-30).

Il y a dans ce cas, une mise en tension entre le phénomène catastrophiste du déluge et le dépôt calme et lent déduit de l'observation des fossiles entiers ordonnés dans les couches géologiques comme l'avait déjà soulevé Léonard de Vinci au début du XVI^e siècle. Finalement il accrédite une agitation spécifique, un mouvement propre à la mer sans lien avec le déluge. Les dépôts stratifiés dans la mer et les « atterrissements » -autrement dit les alluvions- des rivières sont continus et peuvent être considérables. De même la dégradation des côtes prouve que « la surface du globe est dans un état continuel de destruction » tendant « sans cesse à baisser les montagnes et à remplir les vallées » (Rouelle, 1758, p. 31-32). Aussi, la mer présente en elle-même, à la fois une agitation en surface, pouvant expliquer des

¹⁷⁶ Whiston référencé par Gaudant (2004) "A new Theory of the Earth"

dépôts de débris coquilliers et des amoncellements par un courant, et une accalmie dans les profondeurs, pouvant expliquer des dépôts tranquilles de coquilles entières. Les deux phénomènes complémentaires d'érosion et de sédimentation sont reliés dans un modèle explicatif, très certainement inspiré de Buffon car basé sur une loi de régularité engendrant des cycles (Roger, 1995a). D'ailleurs, Buffon va plus loin en 1749, quand il penche pour l'hypothèse d'un déplacement progressif de la mer. Il l'explique par l'action conjointe des marées et de la rotation de la terre, ce qui fait que la mer avance « sans cesse d'orient en occident », comme le rappelle Rouelle (1758, p. 30). Buffon concevra ultérieurement une logique de positionnement des fossiles dans les montagnes comme une chronologie inversée, les fossiles en haute altitude sont les plus anciens du fait des premiers abaissements des mers favorisant l'émersion des premiers reliefs (Buffon, 1778/1998, p. 87).

CONCLUSION partie 3 : la polymorphie de l'obstacle animiste convergent et les problèmes associés à propos des fossiles

1. Comparaison globale entre le travail de problématisation des savants et celui des élèves

Actuellement des expériences, en classe ou en laboratoire de géologie ou de chimie, sont effectuées en démonstration dans lesquelles un germe est placé dans une solution minérale pour démarrer le processus de minéralisation. Historiquement le paradigme des germes minéraux et fossiles fut prégnant. Mais aujourd'hui cette théorie erronée est tombée dans l'oubli pour les scientifiques. Pourtant elle intéresse la mémoire des historiens et pour les didacticiens, elle peut être corrélée à certaines représentations délèves émergeant dans les situations d'enseignement et d'apprentissage. Pour affiner cette comparaison nous avons construit un tableau qui synthétise les systèmes explicatifs des élèves de CM1, de Bernard Palissy au XVI^e siècle et de La Sauvagère déclenchant la réponse de Jean-Étienne Guettard au XVIII^e siècle.

Tableau N°13 : Comparaison des modes de pensée animiste

Discutants	Elèves de CM1	Palissy	La Sauvagère
Obstacle animiste émergent	Modèle animiste spontané associé à une conception embryologique, images premières naïves d'analogie entre les coquilles fossiles et les graines	Modèle animiste sous-jacent à un modèle de pétrification par « congélation » (=solidification) grâce à une eau germinative ou générative enrobant (juxtaposition) ou pénétrant dans les anciens vivants	Modèle animiste associé à une conception embryologique ; croissance de germes de coquilles par intussusception avec la boue et le limon qui durcissent
Exemple de formulation	« Les coquilles fossiles, c'est comme des graines de pierre qui grandissent dans la pierre »	« quand ces coquilles ont longtemps croupi dans les eaux communes, elles font attraction d'une eau cristalline générative, parce que la semence congélative est de nature salsitive »	« Les germes coquilleux ont fait croître ces coquilles à mesure que la pétrification s'est formée »
Analyse/causes mobilisées	Une cause unique est la croissance des coquilles fossiles dans la terre	Deux causes successives : l'envasement de la coquille ou du poisson puis la pétrification ou lapidification mobilisant les vertus de solidification des sels génératifs/ eau germinative	Une cause unique des « jeux de hasard » qui imitent toute forme dans la nature OU Deux causes successives : Germes in situ dans la terre lié à un préformisme originel par la création divine ; les coquilles fossiles germent et croissent comme les fleurs
Nature du fossile	minéral	Organique (anciens vivants dulcicoles ou littoraux) Seul l'encaissant est concerné par l'idée de semences pétrifiantes	Minéral lié aux « jeux de hasard »
Analyse/raisons de résistance	Analogie avec la maturité des fruits	Impossibilité d'une origine diluvienne marine catastrophiste	Impossibilité du déplacement des mers ayant porté les coquilles fossiles à l'intérieur des terres
problématique	Problème isolé de formation et d'origine d'un fossile Centration sur la croissance d'un fossile dans une pierre/ formation d'une stalactite	Problème de fossilisation corrélé à un problème connexe biblique, le déluge	Problème corrélé avec d'autres problèmes connexes construits par la communauté savante : déplacement des mers, genèse des montagnes et temps long
Autres Obstacles associés	Temps immédiat ou historique Continuité et analogie entre le monde vivant végétal et le monde minéral	Obstacle d'un Créateur Obstacles épistémologiques : rupture / temps historique, rupture / fixisme des rivages marins actuels	Obstacle d'un Créateur Obstacles épistémologiques : rupture / temps historique, rupture / fixisme des rivages marins actuels

Comparons plus finement le travail de problématisation des savants et celui des élèves puis dégageons la nature de l'obstacle animiste dans le cadre scolaire et en histoire des sciences.

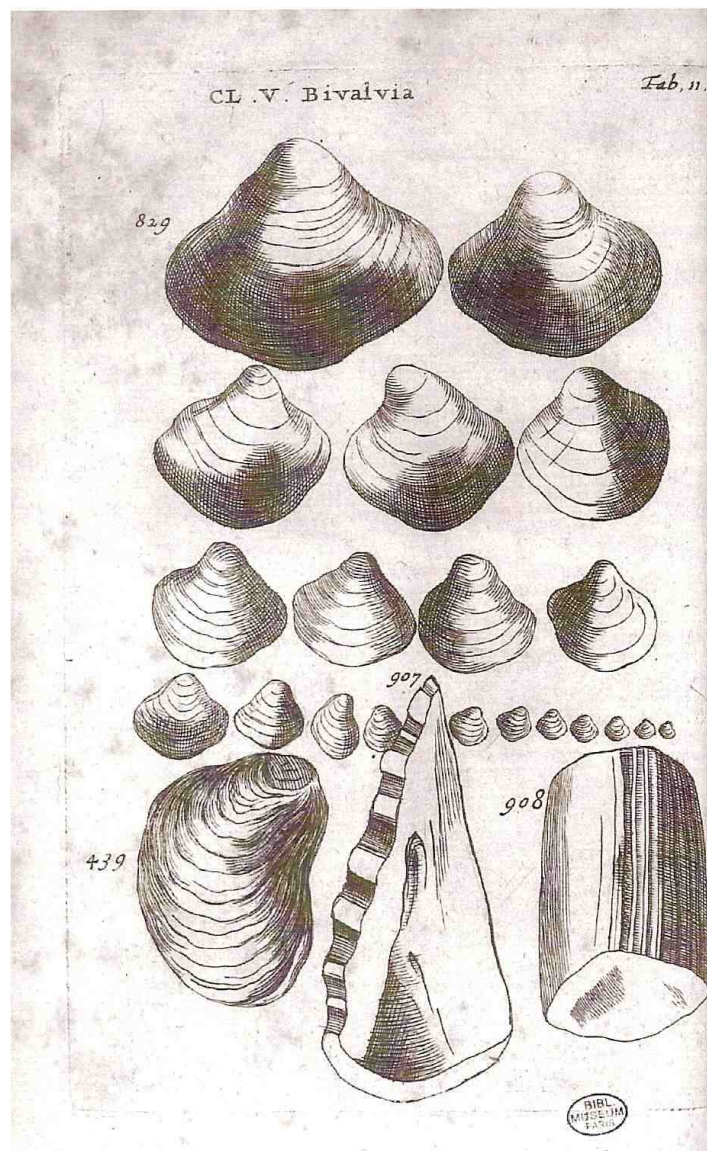
2. Problématisations, argumentations convergentes et savoirs apodictiques

En comparant les arguments mobilisés par les adversaires respectifs, dans le cadre scolaire et dans le contexte historique des similitudes se dégagent. La première est de constater que l'argumentation pour la mise en histoire de la formation d'un fossile se situe à **une échelle de temps historique** quelle soit développée en biologie ou en géologie.

L'analogie avec le cycle de vie végétale est mise en avant par chaque camp défendant l'explication animiste. Pour certains élèves des « graines de pierre » sont envisageables comme les « semences de coquilles fossiles » étaient conçues par La Sauvagère au XVIII^e siècle. Le système de végétation des coquilles fossiles de La Sauvagère et la conception de Laura qui plaçait aussi côte à côte par ordre croissant trois espèces de coquillages fossiles grandissant dans la terre (Annexe 5C) peuvent être rapprochés d'une **conception embryologique** repérée en histoire des sciences (Ellenberger, 1994, Tome 2, 106-107). Dans un ouvrage de systématique sur les fossiles britanniques et d'autres pays, remarquable par ailleurs par la richesse des fossiles animaux et végétaux répertoriés –mille six cent- la rigueur de la méthode linnéenne et la précision des descriptions, rétrospectivement des idées « les plus folles » sont associées sur la nature et l'origine des fossiles (Archiac, 1866, p. 218). En effet une des planches a retenu notre attention par le dessin de vingt fossiles de térébratules disposés par ordre croissant de taille et par la légende associée (Lhwyd, 1699/1749, table 11). Cet auteur substitua le terme de Térébratula, usité aujourd'hui, à celui d'Anomia créé par F. Colonna, pour décliner de nombreux brachiopodes. Nous pouvons traduire ainsi sa légende «Térébratules de la même sorte en vingt exemplaires rangés petit à petit démontrant un accroissement ». Comme ces fossiles appartiennent à une même espèce de térébratule alors l'augmentation de taille visualisée dans l'espace peut traduire une conception temporelle des différents stades embryonnaires produits par croissance in situ dans la terre.

Iconographie N° 9 : **Planche de fossiles bivalves, XVII^e-XVIII^e siècles**

LHWYD, Edward, 1699/1749, *Lythophylacii Britanici Ichnographia*, Londres



N°829 (p. 40) : *Terebratula Ejusdem viginti exemplaria totidem gradus accretionis demonstrantia*

L'analogie avec le mûrissement d'un fruit et sa conservation possible, alors qu'il est détaché de l'arbre vivant, complètent l'argumentation principale empirique des élèves. Ce modèle explicatif n'est pas isolé et s'enracine historiquement dans la pensée humaine. En remontant le temps considérons premièrement Wormius (1633-1724) qui déclarait que les articles d'encrines devaient être corrélés aux entroques, constituées d'un assemblage d'articles formant une colonne, et il envisageait une croissance minérale entre les deux « elle (la trochite) n'est pas encore mûre, au lieu que l'entroque a acquis toute sa maturité »

(Wormius¹⁷⁷, 1655, p. 69, cité par Guettard, 1755/1761, p. 328). Nous avons déjà rencontré chez Palissy cette analogie entre la semence minérale et la maturité des fruits. Là encore chez les élèves la maturité d'un fruit peut être rapprochée de la maturité d'un fossile (Alice, Annexe 4, occurrence 488). Pour certains élèves, les fossiles ont les mêmes propriétés que les vivants, plus particulièrement les végétaux, grandir et se développer dans la terre. Il n'y a pas de frontière entre les êtres animés et les fossiles inanimés. Cette analogie entre les végétaux et les pierres est aussi fréquente au XVIII^e siècle. Les pierres et les fossiles « croissent ou végètent » comme les plantes. Les gorgones ou « madrépores branchus » sont qualifiés de plantes pierreuses qui végètent aussi. Et la seule différence notable qui distingue les végétaux des végétations pierreuses -fossiles imitant les plantes, coraux-, est la capacité de se multiplier par semence ou bouture (De Sauvages, 1746, pp. 750-752). Cette explication est donc différente de celle de La Sauvagère qui concevait la présence de semences de coquilles fossiles dans la terre. Or en remontant à la pensée occidentale gréco-latine et médiévale, une **génération spontanée ou équivoque in situ** des fossiles est déjà conçue. Et une énergie créatrice permettrait même leur reproduction. Une continuité entre le minéral, le végétal et l'animal sous-tend cette conception « les fossiles constitueraient une sorte de chaînon entre le monde minéral et le monde vivant » (Bouillet, 1986, p. 33). Dans la pensée enfantine « la nature présente un *continuum* de vie, tels que tous les corps aient plus ou moins d'activité et de discernement [...] toute activité est consciente et tout mouvement est spontané » (Piaget, 1947 /1999, p. 196 et p. 200). Mais contrairement aux élèves, pour le savant cette analogie entre la végétation des coquilles fossiles et la végétation des plantes est fortement soutenue par de nombreuses observations de fossiles orientées par un cadre épistémique créationniste et fixiste. Cette convergence d'idée participe-t-elle à une problématisation similaire, à un même savoir apodictique ?

La référence aux dépôts calcaires est l'argument commun mobilisé par chaque camp défendant l'explication matérialiste. Au cas singulier d'une fossilisation exceptionnelle rapportée par un élève s'oppose un réseau d'arguments convoqués par le naturaliste Guettard. Le savoir paléontologique construit trois nécessités. La première est la nature organique des coquilles fossiles. Pour les élèves les coquilles fossiles observées lors du premier tri représentent des animaux proches des vivants actuels connus (ammonite et escargot terrestre, rhynchonelle et coquillage de mer). Et d'autre part l'impossibilité d'une synergie entre enterré, mortalité et croissance est mise en avant à plusieurs reprises. Ces deux arguments induisent la nécessité d'un ancien être vivant, mort avant d'être fossilisé. Quant à Guettard leur nature organique ne fait plus aucun doute par l'identité des coquilles fossiles avec les coquilles marines actuelles ainsi que par leur association avec des restes fossiles de poissons

¹⁷⁷ Christian Wormius, fils aîné d'une grande famille de savants du danemarck. Médecin et savant célèbre, il fut physicien, historiographe et bibliothécaire du roi. Il publia un livre *Museum Wormianum* dans lequel il décrit les curiosités du cabinet de son père.

marins. Cette nécessité est stabilisée. En conséquence la pétrification dans un milieu aquatique apparaît en deuxième nécessité. Pour les élèves ce n'est qu'une possibilité corrélée aux matériaux dissous dans l'eau des sources calcaires ou dans l'eau de mer salée. Pour Guettard c'est une nécessité à conforter au vu des observations de moules incrustées dans les fontaines pétrifiantes. Et par corrélation le déplacement des mers est engagé comme troisième nécessité. A l'idée spontanée d'une mer salée chez les élèves s'oppose la raison soutenue d'une ancienne mer chez le scientifique. Mais la pétrification en milieu marin et la présence d'une ancienne mer ne sont pas arrêtées, ce sont des **nécessités conditionnelles sur lesquelles le doute peut encore porter**. Le statut de preuve scientifique en science historique telle la paléontologie répond bien aux critères poppériens, des preuves de réfutation et la probabilité d'un ensemble cohérent d'arguments (Popper, 1979/2006).

3. Une problématisation plus soutenue par les savants que par les élèves

L'émergence d'une idée spontanée n'induit pas une problématisation explicite par les élèves. Seule l'impossibilité de se nourrir d'une coquille fossile, non consensuelle dans la classe, est le contre-argument engagé. Et seule la possibilité pour un animal d'être piégé dans une formation calcaire de stalactite est évoquée. Néanmoins l'expertise enseignante développée selon l'axe d'une meilleure connaissance des modèles historiques et de leur dynamique aurait pu favoriser les aides didactiques en cours de débat. Car par contre le processus de problématisation scientifique est beaucoup plus développé dans la communauté scientifique que dans la communauté scolaire (Orange, 2005a, pp. 85-86). Un discours de contre-argumentation à la théorie des germes approche celui des élèves, il est écrit par Léonard de Vinci (1452-1519) vers 1508-1510 environ dans ses notes manuscrites du Codex Leicester

« Ceux qui considèrent que ces coquillages ont été et continuent à être constamment créés en ces endroits, en raison de la nature de ces lieux et grâce à l'intervention des cieux, n'ont sûrement pas de capacités de raisonnement suffisantes, parce que le nombre d'années de croissance est enregistré sur le revêtement extérieur de leur coquille. Et l'on peut trouver des spécimens aussi bien petits que gros. Or, ces derniers n'auraient pu se développer sans s'être nourris, ou n'auraient pas pu se nourrir sans bouger. Mais, ici, il leur était impossible de bouger » (Léonard de Vinci, cité par Stephen Jay Gould, 2001, p. 36)

D'emblée la maîtrise de la problématique s'exprime par un **champ des possibles et des impossibles nettement plus investi chez les savants**. Les impossibles principaux combattus sont soit l'origine diluvienne ou les grands déplacements des mers par rapport à l'actuel (Vinci, 1508-1510 ; Palissy, 1580 ; La Sauvagère, 1776), soit la formation des montagnes dans une ancienne mer (Voltaire, 1768), soit enfin la croissance spontanée des coquilles fossiles (Vinci, 1508-1510 ; Guettard, 1783a). En miroir de ces impossibilités, des possibles voire des nécessités divergentes sont construites : la formation originelle de semences minérales de coquilles fossiles réparties partout dès la création de la Terre (La Sauvagère,

1776), la formation in situ d'anciens vivants pétrifiés dans des lacs asséchés (Palissy, 1580 ; Voltaire, 1768), la pétrification des coquilles d'une ancienne mer retirée (Vinci, 1508-1510 ; Guettard, 1783a). **Plusieurs combinaisons entre les modèles explicatifs et les cadres épistémiques** peuvent être illustrées à travers cette controverse historique de la nature et de l'origine des fossiles : l'idée juste d'une origine organique des coquilles fossiles mais développée dans un cadre de pensée erroné fondé sur des semences pétrifiantes (Palissy, 1580), l'idée fausse d'une végétation spontanée des coquilles fossiles dans un cadre de pensée également erroné fixiste et créationniste (La Sauvagère, 1776), et enfin l'idée partiellement juste généralisée d'une origine marine des coquilles fossiles dans un cadre de pensée validé aujourd'hui (Guettard, 1783a). Ce serait donc seulement quand il y a concordance entre le modèle explicatif et le cadre épistémique que la problématisation peut progresser. Quant aux élèves, leurs idées justes ou fausses se situent dans un cadre de pensée animiste labile, traduit par une argumentation peu développée, et qui ne demande qu'à être déstabilisé -contrairement au cadre de pensée artificialiste porté collectivement par une argumentation plus soutenue et une heuristique plus développée.

4. Polymorphie de l'obstacle animiste

Chez les élèves de cette classe de CM1 l'obstacle animiste peut être qualifié d'instable et de flou. La spontanéité de l'idée n'est pas associée à une argumentation soutenue. Laura, dont le dessin s'apparente le plus à une planche historique, n'est pas capable de le justifier et la croissance d'une coquille fossile en analogie à une graine reste implicite ou formulée maladroitement. Selon la posture de l'enseignant et les réactions de ses pairs, elle peut très bien se contredire et changer d'idée. La défense de l'idée animiste par d'autres élèves prouve par ailleurs qu'elle peut être systématisée comme mode de pensée enfantine. Considérons selon Piaget que c'est une **conception inhérente à la pensée enfantine** précausale prêtant vie et conscience/intentionnalité à de nombreux éléments inertes de la nature, d'autant plus s'ils sont associés au mouvement -les astres, les nuages, les fleuves, les montagnes, les fleurs, les cailloux et la terre- « l'enfant nous a dit que les plantes *poussent*, mais c'était pour lui une manière de concevoir qu'elles sont animées d'un mouvement propre, et le mouvement de croissance était ainsi mis sur le même plan que le mouvement des nuages [...] pour l'enfant presque tous les corps naissent et croissent » (Piaget, 1947/1999, p. 193). Donc la génération spontanée ou la pensée spontanéiste prise dans un sens élargi, peut être aussi une propriété intrinsèque à la roche et aux fossiles qu'elle contient d'après les interactions langagières repérées entre élèves de dix ans.

Or cette fragilité du système explicatif enfantin s'oppose aux obstacles animistes repérés en histoire des sciences. Ces derniers peuvent être catégorisés selon la prégnance de l'animisme et son degré de participation dans le système explicatif.

Soit **l'obstacle animiste est intégral** car il appartient à part entière aux différents modèles explicatifs avancés. L'animisme, selon un autre sens que Piaget, est pointé comme obstacle épistémologique par Canguilhem « la théorie selon laquelle la vie du corps animal dépend de l'existence et de l'activité d'une âme » (Canguilhem, 1965/2009, p. 97). Cette définition s'apparenterait à l'esprit ou au germe lapidifiant de Du Hamel (1660) qui soutient sa théorie. C'est le cas aussi de la végétation spontanée des fossiles dispersés dans la terre par le Créateur (La Sauvagère, 1776).

Soit **l'obstacle animiste est composite**. Par exemple Palissy marque une conception mixte d'un modèle explicatif minéralogique de la Terre où le matérialisme émergent est encore empreint d'animisme. Les coquilles fossiles sont à la fois issues de vivants pétrifiés qui ont vécu dans des cavités d'eau plus ou moins salées et la pétrification résulte d'une eau germinative. Nous pourrions aussi parler de conception hybride¹⁷⁸.

Soit **l'obstacle animiste est discret** comme chez J.-É. Guettard. Nous avons été surpris de le déceler chez cet adversaire de La Sauvagère, d'autant plus à la fin du même mémoire dans lequel il venait d'attaquer de nombreux auteurs sur leurs conceptions erronées animistes (Guettard, 1783a, pp. 1-54) ! Et pourtant, lorsque Guettard se refuse d'admettre des espèces « détruites et anéanties » il manifeste finalement un recours aux germes qui dévoile un fondement créationniste¹⁷⁹.

« Nous ne détruirons pas ainsi d'un trait de plume un des êtres –champignons marins¹⁸⁰– que l'Auteur de la Nature a créé, & dont les individus paroissent s'être prodigieusement multipliés. [...] Que les Naturalistes qui ne sont ni destructeurs, ni créateurs, & qui se contentent de parler de ce qu'ils voient, se rassurent cependant. Tous les germes de ces prétendus corps détruits, ne le sont peut-être pas, du moins il faut l'espérer [...] je l'espère d'autant plus que Burnet nous assure que les germes des êtres sont indestructibles. J'aime autant l'en croire sur sa parole, que d'en croire les destructeurs. Je n'aime pas la destruction. Cela étant, j'espère que quelques germes se seront fourrés dans quelque coin, quelque réduit, quelque anse, baie, détroit des mers inconnues, ou que ces germes sont restés dans le fond des mers profondes, & que quelques tempêtes des plus violentes, en feront monter quelque jour à la surface des eaux, & qu'alors l'influence bénigne de cet astre qui anime toute la nature les fera éclore, & qu'ensuite les animaux qui en seront nés se multiplieront, se propageront dans une suite de siècles. Alors on reverra reparoître ces corps qui ont disparu. » (Guettard, 1783a, pp. 50-52)

Même si Guettard revendique la primauté de l'observation et veut conserver une posture de science positive, il quitte complètement dans sa conclusion le registre scientifique. Il adhère à

¹⁷⁸ Dans la même mouvance Kepler (1571-1630) montre le passage d'une conception animiste de l'Univers à une conception mécaniste, en remplaçant pour le mouvement des planètes la force des âmes par des forces matérielles –lumière ou magnétisme-. Cette transition est mesurée par l'écart de conception entre ses deux livres *Mysterium Cosmographicum* édité en 1596 et *Epilome Astronomiae Copernicanae* publié en 1617-1621. Nous retrouvons dans ce dernier ouvrage la structure d'un dialogue sous forme de questions-réponses pour une présentation pédagogique de l'astronomie copernicienne sur toutes les planètes du système solaire

¹⁷⁹ Guettard, fervent croyant et pratiquant, bénéficia d'un environnement religieux prégnant. Il fut directeur du cabinet du Duc d'Orléans (1723-1752) dit « Le Pieux » (Louis 1^{er}, 1703-1752) qui s'était lui-même retiré du monde en 1742 afin de vivre au sein de la communauté religieuse de l'abbaye de Sainte Geneviève et qui écrivit de nombreux ouvrages d'érudition et de piété. De plus les manuscrits de Guettard révèlent de nombreux textes théologiques (cinq boîte d'archives non classées sont référencées à J-E. Guettard dans le fond ancien de la bibliothèque du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris).

¹⁸⁰ Ces champignons de mer qu'il appelle aussi « fongoides fossiles » sont des coraux dont le squelette calcaire compact forme une colonie hémisphérique avec un pédoncule.

la conception d'un monde éternel. En fait, il révèle l'objectif principal de son écrit, effectuer une démonstration d'un plan d'organisation des êtres vivants, soutenue par la diversité des pétrifications de coraux fossiles pouvant donner l'idée d'une série animale (Guettard, 1783a, p. 46). Il développera cette idée dans sa *Nouvelle Collection de Mémoires*, avec un passage d'une classe d'animaux à une autre, chez les zoophytes, tels les coraux et les éponges (Guettard, 1786a). Il est donc antagoniste, aussi, à la disparition des êtres vivants. La présence de coquilles innombrables dans les montagnes ayant leurs analogues pêchés dans l'océan indien et deux découvertes exceptionnelles au cours de XVIII^e siècle, le crabe des Moluques¹⁸¹ et le palmier marin (Guettard, 1755/1761), confortaient Guettard dans l'idée de retrouver tout analogue vivant aux fossiles d'espèce vivante inconnue. Par exemple pour le cas des fossiles de bélemnites, que nous avons développés dans cette partie, il assure que leur détermination ne sera pas tranchée tant que les naturalistes n'auront pas à disposition d'observer leurs analogues vivants

« Le temps n'a pas ralenti l'envie des Naturalistes pour embrasser l'un ou l'autre sentiment (stalactites, plantes, coraux, cornes d'Ammon, dents de gros poissons, pointes d'oursins et même urine de Lynx !), ou pour en établir un nouveau ; la fausseté ou le peu de certitude qu'il y a d'adopter l'un ou l'autre ne les a pas encore convaincus qu'il seroit plus sage d'avouer qu'il n'est pas possible de déterminer quelle est la nature de ce corps, tant qu'on ne le retrouvera pas dans la mer, & qu'il faut attendre un de ces heureux hasards qui feront pêcher ce corps » (Guettard, 1786e, p. 215).

Il est favorable aux germes, indestructibles selon Burnet, pour le monde vivant, symbole de vie ; et il ne croit pas aux espèces détruites et anéanties des anciens mondes de Buffon, symbole de mort. La discussion semble avoir été houleuse entre Guettard et Buffon à ce sujet. Guettard dénigre l'assurance, la complaisance et le tranchant de Buffon qui se congratule, sous-entend-il, sur son système des espèces disparues. Tandis que Buffon, devant l'obstination de Guettard à le refuser, répliquait qu'il était

« un de ces esprits bornés, qui ne savent pas saisir le grand plan de la nature, avoir de grandes vues, pénétrer les secrets de cette même nature, qui ne savent que ramper terre à terre, qui n'ont point comme eux assisté au conseil du Créateur, qui ne savent ni créer, ni détruire, anéantir à leur gré, ce qui peut favoriser & appuyer des systèmes, que des esprits sublimes peuvent seuls enfanter & détailler avec ce style aussi sublime que le système, & qui entraîne, convainc l'esprit de celui qui les étudie & qui force sa volonté à y acquiescer » (Guettard, 1783a, pp. 50-51).

Guettard ne supporte pas la suffisance de Buffon qui s'octroie le pouvoir du Créateur. Mais en définitive par cette immanence des germes sur Terre à laquelle il adhère, Guettard participe à l'obstacle animiste selon une autre facette enracinée dans une structure profonde inconsciente de sa pensée. C'est pourquoi, le terme matérialiste que nous avons employé dans le schéma

¹⁸¹ Le Crabe des Moluques est le nom vernaculaire pour désigner la limule. Très caractéristique par son céphalothorax en forme de bouclier et un telson allongé en forme d'épée à l'extrémité de l'abdomen. C'est le seul représentant actuel des Arthropodes Chélicérates Mérostomes qui mène une vie marine fousseuse dans les eaux littorales de l'Amérique du nord, de Malaisie, de Chine ou des Philippines. Actuellement des fossiles bien conservés sont connus dans les grès bigarrés du trias vosgien, dans les calcaires lithographiques du Jurassique de Solenhofen en Bavière. D'après Guettard, un ou des fossiles d'un gisement en Suisse étaient déjà repérés au XVIII^e siècle. Il représente typiquement ce que les naturalistes ont appelé très longtemps un « fossile vivant ».

N°19, pour qualifier son opposition à l'animisme de La Sauvagère, est discutable. D'ailleurs, Guettard en personne, refuse cette affiliation « nous voilà retombés dans les naissances spontanées, & de-là au matérialisme ; le pas est bien court, & la pente bien facile » (Guettard, 1783a, p. 53). Pour lui, Dieu a créé le monde, et les fossiles sont ses ouvrages, d'un point de vue spirituel. Nous pourrions alors, le qualifier plutôt de « matérialisme méthodologique », en regard de son fort positivisme.

Enfin l'**obstacle animiste peut-être encore plus retranché**, reléguant cette explication à l'origine du monde et des êtres vivants. Prenons l'exemple de Buffon qui acceptait et défendait la conjecture des espèces disparues en la généralisant à tout fossile n'ayant pas d'analogue actuel. Néanmoins il se voyait contraint d'imaginer pour sa théorie de la Terre, un peuplement spontané progressif de la planète. Dans sa cinquième époque la possibilité de générations spontanées successives d'une vie septentrionale puis méridionale est liée au fil directeur de son ouvrage, le refroidissement progressif du globe. La première génération produit avec abondance de grands spécimens d'animaux (baleines, éléphants) et végétaux, la seconde produit une flore et une faune plus modeste en nombre et en taille grâce à l'essence naturelle de molécules actives indestructibles sur Terre.

« Toute production, toute génération, & même tout accroissement, tout développement, supposent le concours & la réunion, d'une grande quantité de molécules organiques vivantes ; ces molécules qui animent tous les corps organisés, sont successivement employées à la nutrition & à la génération de tous les êtres. Si tout-à-coup la plus grande partie de ces êtres était supprimée, on verrait paraître des espèces nouvelles, parce que ces molécules organiques qui sont indestructibles & toujours actives, se réuniraient pour composer d'autres corps organisés ; [...] Or ces grands animaux sont arrivés du Nord sur les terres du Midi ; ils s'y sont nourris, reproduits, multipliés & ont par conséquent absorbés les molécules vivantes : en sorte qu'ils n'en ont point laissé de superflues qui auraient pu former des espèces nouvelles ; tandis qu'au contraire dans les terres de l'Amérique méridionale, où les grands animaux du Nord n'ont pu pénétrer, les molécules organiques vivantes ne se trouvant absorbées par aucun moule animal déjà subsistant, elles se seront réunies pour former des espèces qui ne ressemblent point aux autres, & qui toutes sont inférieures, tant par la force que par la grandeur, à celle des animaux venus du Nord. » (Buffon, 1778 /2000, pp.149-151)

L'apparition de la vie aurait donc commencé dans les contrées septentrionales où une température adéquate et une quantité suffisante de « matières ductiles » étaient présentes. Puis les espèces animales existantes chassées dans d'autres contrées par le réchauffement, se voyaient dans l'impossibilité de franchir des reliefs trop élevés ou des masses d'eau trop importantes. Alors de nouvelles espèces, d'emblée complexes, apparaissent en fonction du nouveau climat, en Amérique du Sud ou en Europe. La matière organique vivante, elle-même, était produite à partir d'une matière aqueuse huileuse et ductile sous l'effet d'une chaleur compatible avec la vie. C'est pourquoi la puissance vitale à modeler et générer des êtres vivants organisés a pu s'exercer beaucoup mieux dans les terres du nord, les premières contrées à s'être refroidies, que dans celles du midi, refroidies ultérieurement.

« Il a pu exister alors des végétaux, des coquillages & des poissons d'une nature moins sensible à la chaleur dont les espèces ont été anéanties par le refroidissement dans les âges subséquents, ce sont ceux dont nous trouvons les dépouilles & les détrimens dans les mines de charbon, dans les ardoises, dans les schistes & les couches d'argiles, aussi bien que dans les bancs de marbres & des autres matières

calcaires ; mais toutes les espèces plus sensibles & particulièrement les animaux terrestres n'ont pu naître & se multiplier que dans des temps postérieurs & plus voisins du nôtre » (ibid., p. 137).

Une génération spontanée, multiple et échelonnée sur les différents âges du globe, est l'explication majeure de la diversité des vivants sur terre par Buffon (Roger, 1962, p. LXXI). Nombreux seront ses contemporains qui formuleront ce reproche principal à la théorie de Buffon, la préexistence de germes pour l'origine des espèces animales, comme par exemple le fera Saint-Lambert, directeur de l'Académie française, dans son discours prononcé en éloge à Buffon

« Sans doute la doctrine de la formation des planètes et de la génération des êtres animés sera citée au tribunal de la raison ; mais elle y sera citée avec les erreurs des grands hommes [...] Quelque degré de vraisemblance que le génie de M. de Buffon ait pu prêter à ces systèmes, gardons nous de croire qu'ils inspirent aujourd'hui une aveugle confiance » (Buffon, 1779/ 1839, p.16).

Et toute la fin du XVIII^e siècle et le début du XIX^e siècle emprunteront **des solutions similaires pour expliquer les modifications du monde vivant** démontrées par le fait irréfutable de la dissemblance des faunes et flores fossiles dans une colonne stratigraphique (Ellenberger, 1994, pp. 297-308), Parmi les trois registres soulignés, autant les créations successives surnaturelles et les transformations par filiation génétique sont très fréquemment évoquées et opposées par dichotomie, autant l'idée des générations spontanées successives (par les seules puissances de la matière) sont méconnues. Ainsi en 1798 Deluc¹⁸² (1727-1817) évoque pour la réfuter la thèse matérialiste d'un jeune naturaliste qui défendait la possibilité de naissances spontanées pour expliquer les changements de faunes sur le globe. Ses arguments sont d'une part la trop grande différence entre les faunes marines actuelles et anciennes et d'autre part la naissance actuelle spontanée de moisissures et animalcules. Cet exemple fait émerger à nouveau la trop grande référence à l'actuel, de même que la proximité excessive recherchée entre les espèces perdues et des espèces analogues sera discutable. La notion de caractères communs en nombre conséquent suffit pour penser une filiation, par opposition à l'identité strict ou la conformité. Cependant, si Deluc se range à l'idée du transformisme pour réfuter la génération spontanée des espèces au cours des temps géologiques, malgré tout, Lamarck « postulera la génération spontanée des formes élémentaires » (Gohau, 1990a, p. 146).

Ainsi à différents niveaux, l'animisme est supporté par l'immanence de la matière, c'est à dire l'intervention d'une entité extérieure à l'origine des êtres vivants. Il s'oppose au matérialisme et magnifie toujours l'acte d'un créateur. La transcendance –l'Eternel-, des élans vitaux réintroduits –telle une force plastique ou une semence générative-, ou encore une cause unique omnipotente –le Créateur, la loi de la Nature-, tous s'opposent à la pensée rationnelle et à la construction objective de la connaissance. Plus la distance est grande entre le registre

¹⁸² Extrait de la septième lettre de la correspondance de De Luc, J.-A. (an VI/1798). *Lettres sur l'histoire physique de la terre, adressées à M. le professeur Blumenbach, Renfermant de nouvelles Preuves géologiques et historiques de la Mission divine de Moyse*, pp. 343-348, cité par F. Ellenberger (1994, p. 301).

religieux et le registre scientifique, ou moins la conciliation est recherchée entre ces deux registres, plus la problématique peut être cernée et la problématisation progresser tout en admettant l'absence momentanée de réponse. Ainsi La Sauvagère fait-il intervenir à tout moment le Créateur pour la formation d'un fossile et sa problématique reste inhérente à cette vision fixiste. Alors que Buffon renvoie Dieu à l'origine du monde, dans l'extrême retranchement de son système explicatif qui convoque par ailleurs des causes matérielles « il lutte à la fois [...] contre Dieu qui explique tout et le hasard qui n'explique rien, contre le principe vital qu'on n'explique pas et contre les puissances de l'instinct qu'on n'a jamais expliquées » (Roger, 1962, p. cxlix). C'est pourquoi il peut alors construire l'ébauche d'une véritable histoire irréversible des vivants sur Terre (Buffon, 1778-1779/1998, p. XIII).

5. Mythe, obstacle et problèmes

En nous dissociant des stades piagétien individuels sur les représentations du monde par l'enfant, nous retiendrons une **convergence de l'animisme comme un mode de pensée commun** pouvant émerger dans l'enfance, ayant été décelé avec récurrence en histoire des sciences et ayant été découvert dans la pensée collective de certaines civilisations primitives actuelles, telles celles des amérindiens étudiée au siècle dernier (Lévi-Strauss, 1962). L'étude de l'animisme dans le langage et la pensée humaine sauvage, nous dit l'ethnologue, est fondamentale pour comprendre la mythologie de notre époque (ibid., p. 297). Dans ce sens la symbolique du germe exprime une finalité et la recherche d'une loi naturelle très bien vue par J. Rostand¹⁸³ « S'il est dans toute la nature un objet qui semble matérialiser une intention, un projet, une finalité enfin, ou, si l'on préfère d'user d'un terme plus savant et moins compromis, d'une 'télénomie', c'est à coup sûr, le germe, ce 'comprimé d'avenir' ». Cet obstacle épistémologique appartient aux structures profondes de pensée quel que soit l'âge des individus et quelle que soit l'époque des communautés. **Il s'apparente au mythe**, conception irrationnelle et ancestrale d'une tradition préscientifique qui doit être pris au sérieux (Popper, 1979/2006, p. 184). Obligatoirement la connaissance scientifique trouve ses origines et a dû se construire à partir de ces premières théories plus ou moins réalistes « les progrès de la science sont commandés par une tradition qui implique la transformation de ses mythes traditionnels » (ibid., p. 197). Le **raisonnement analogique** entre le règne végétal et le règne minéral serait lié à un **mythe du caractère universel de la vie** qui applique/transpose les phénomènes vitaux aux phénomènes de la matière. Il est remarqué par de nombreuses expressions communes telles la « fécondité minérale » ou la « semence métallique » ou « les minéraux croissent et renaissent à la manière des plantes » ou encore « Les carrières (de pierres à fusil du Berry) et les mines épuisées se remplissent donc de

¹⁸³ Réponse de M. Jean Rostand au discours de M. Étienne Wolff, discours de réception à l'Institut, prononcé dans la séance publique du jeudi 19 octobre 1972, www.academie-francaise.fr

nouveau et sont toujours fécondes » (Bachelard, 1938/2004, pp. 188-190). Dans ce sens, le concept central est celui de végétation, valable pour tout ce qui croît. La volonté de lier les trois règnes et de discerner des passages de l'un à l'autre a été fréquemment repérée en histoires des sciences géologiques et paléontologiques (Bouillet, 1986 ; Gohau, 1990b ; Ellenberger, 1988 & 1994). Cette analogie et les métaphores associées s'effectuent toujours au détriment du minéral en survalorisant le vivant dans la pensée préscientifique historique (Bachelard, 1938/2004) ou scolaire (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 109). Bachelard qualifie les rêveries ou les croyances animistes d'« intuition vitaliste » ou de « fétichisme de la vie », (Bachelard, 1938/2004, pp. 179-180). La science déviée alors « vient répondre à des questions qu'on ne lui pose pas » (ibid.). Et la fonction didactique du débat est de rendre tout d'abord explicite l'obstacle animiste, d'en faire prendre conscience à la communauté scolaire puis de le changer si possible en problème opérationnel en sciences. **Le problème de la nature des fossiles, souvent mal posé donc insoluble, ne pourra devenir soluble que si l'obstacle animiste est transformé en nouveau problème.** Nous confortons une spécificité de la problématisation scientifique, son ouverture par des solutions possibles nouvelles la soutienne plus qu'une fermeture sur une résolution de problèmes (Orange, 2005a, p. 87). Dans ce sens il est intéressant de repérer le choix méthodologique de Bachelard pour l'analyse de l'ensemble des « obstacles à l'objectivité de la phénoménologie physique », le choix de cerner dans la science du XVIII^e siècle la division entre l'intuition et la pensée objective, la rupture entre le vitalisme et le matérialisme (ibid.). C'est aussi une époque charnière privilégiée dans le domaine de la biologie et de la paléontologie, assumant à la fois la difficulté de séparer le vivant du minéral dans son état actuel et de l'associer dans son histoire. Cette conception spontanéiste des fossiles sera abandonnée mais pour mieux être réinvestie dans la génération spontanée unique ou multiple des vivants sur Terre. Ce qui prouve bien l'enracinement de l'obstacle malgré le changement des problématiques successives. C'est en partie l'objet de notre troisième étude qui porte sur la mise en histoire des anciens vivants au cours des temps géologiques.

QUATRIÈME PARTIE : TROISIÈME ÉTUDE COMPARATIVE, LE PROBLÈME D'IDENTITÉ DES FOSSILES PAR RAPPORT AUX FAUNES ACTUELLES ET L'ANALOGISME

Une fois que les problèmes de la nature et de l'origine des fossiles sont clarifiés, les obstacles artificialiste et animiste étant apparemment dépassés, un nouveau problème scientifique peut être pris en charge, la détermination d'un fossile en relation ou non avec sa position stratigraphique. Généré dans les sociétés géologiques du XIX^e siècle, il est organisé comme situation didactique dans les communautés scolaires. Le premier niveau de cette problématique est abordé lors d'un débat scolaire relatant les difficultés rencontrées par des élèves de CM2, dernière année de l'enseignement primaire, pour identifier un fossile d'ammonite. Le second niveau de cette même problématique est soulevé lors d'un débat en classe de 4^o de collège révélant leurs raisonnements pour mettre en histoire la diversité des vivants sur Terre. En corrélation une controverse historique eut lieu en 1838 à l'Académie des Sciences de Paris mobilisant de nombreux protagonistes au cœur d'une même problématisation sur l'identité de fossiles trouvés à Stonesfield en Angleterre. Non seulement les archives paléontologiques sont parcellaires, disséminées au gré des strates, mais de plus la fossilisation est généralement partielle, l'ensemble pose de nombreux problèmes méthodologiques pour assurer l'identification de certains fossiles. Rappelons dans ce sens le cas célèbre de Scheuchzer qui confondit les os pétrifiés d'un amphibien avec les os humains et les identifia sous le nom d'*Homo diluvii testis* –homme témoin du déluge– dans son livre *Lithographia Helvetica* de 1726. L'objet fossile récolté ne peut être dégagé de la problématique et du cadre épistémique de l'époque. Notre étude comparative des débats scolaires et d'une controverse scientifique au XIX^e siècle s'intéressera à repérer les moteurs principaux d'un raisonnement complexe, l'analogie avec les animaux actuels et la succession des fossiles corrélée à la stratification. Par ailleurs en miroir nous verrons que trois obstacles épistémologiques peuvent leur être affiliés tels la survalorisation de l'actuel, une mise en histoire élémentaire détachée d'une véritable échelle des temps géologiques et le déterminisme d'une filiation des vivants centré sur l'espèce humaine autrement dit le finalisme. La tension entre les raisons scientifiques et les obstacles épistémologiques est délicate et la construction d'un problème est en équilibre fragile entre ces deux pôles.

CHAPITRE 9 : UNE ÉTUDE DE CAS EN CM2, LE PROBLÈME DE L'IDENTIFICATION D'UNE AMMONITE ET DE SA PARENTÉ AVEC UN ESCARGOT TERRESTRE

9. 1 Place didactique de ce débat dans la séquence d'enseignement, présentation de l'étude de cas

9. 1.1 Conception de la séquence globale d'enseignement de la paléontologie

Le débat repéré s'inscrit dans une séquence sur la paléontologie menée dans une classe de CM2 par une professeure des écoles¹⁸⁴, directrice d'une école rurale, en mars 2005. Cette séquence comprend quatre phases en référence au canevas de séquence¹⁸⁵ répondant aux mêmes objectifs d'apprentissage scientifique déclinés pour le projet en CM1. Nous rappelons que l'organigramme de la séquence pédagogique (Annexe 27) est une adaptation du schéma proposé initialement par l'équipe INRP (Collectif, 1985, p. 21 et p. 23), schéma interprété par ailleurs en tant que **modèle pédagogique par investigation-structuration** (Astolfi & Develay, 1989, pp. 108-109). Par rapport à notre projet de recherche, nous considérerons deux temps, celui préparatoire au débat et le débat lui-même choisi pour les phases révélatrices de la difficulté de raisonner avec l'actuel, contrainte obligée mais porteuse d'obstacles. Dans cette étude de cas la séance de débat sélectionnée s'intègre à un moment d'investigation scientifique dans la progression (Séance N°11, Annexe 27). De nombreuses approches antérieures concrètes ont été générées –l'observation d'un fossile de belle taille trouvé lors des travaux d'agrandissement de l'école, la comparaison et le tri parmi une diversité de vivants marins actuels et de fossiles corrélés, l'élaboration d'une maquette simulant une fossilisation, enfin une récolte dans une marnière-. Toutes ces activités ont encouragé en permanence une problématisation collective, soutenue par une habitude de questionnement et d'argumentation par l'enseignante et les élèves. Dans ce sens, différents moments de débat jalonnent la séquence, une discussion à « bâtons rompus » dans la situation d'entrée, une première confrontation des conceptions initiales individuelles des élèves, une seconde

¹⁸⁴ Yvette Favory a eu une formation universitaire scientifique validée par l'obtention d'une maîtrise d'enseignement en Sciences de la vie et de la Terre. Et elle a eu une formation professionnelle d'auxiliaire hospitalière au service FIVETE de Besançon (caryotypes et banque du sperme). Puis elle a choisi une réorientation professionnelle et a obtenu le CRPE en 1995. Elle avait suivi deux stages de formation continue sur l'enseignement des sciences dont un en 2001 intitulé « Comprendre et enseigner la planète bleue à l'école »

¹⁸⁵ Ministère de la jeunesse, de l'Education nationale et de la Recherche, Direction de l'enseignement scolaire, Académie des sciences-La main à la pâte, 2002, Documents d'accompagnement des programmes -Enseigner les sciences à l'école, Cycles 1,2 et 3, CNDP, pp. 8-9. En référence aux programmes 2002 « Des traces de l'évolution des êtres vivants (quelques fossiles typiques) ; grandes étapes de l'histoire de la Terre ; notion d'évolution des êtres vivants » (MEN, 14 février 2002, p. 87).

confrontation des propositions de tri des animaux marins actuels et fossiles, et enfin une troisième confrontation des maquettes réalisées modélisant la fossilisation. Les deux dernières discussions peuvent être plutôt qualifiées de séance de présentation des productions de groupes des élèves, le guidage par l'enseignante n'ayant pas permis d'aboutir à une véritable confrontation. La difficulté de mener ces séances de langage au service d'une problématisation collective est indéniable. D'une part elles nécessitent une vigilance maintenue de la part de l'enseignant pour offrir un temps de parole suffisant entre élèves afin qu'ils développent une argumentation approfondie. Et d'autre part elles requièrent des interventions enseignantes favorisant une mise en perspective des accords et des désaccords (Crépin-Obert, 2007a). Une séance d'autoconfrontation simple – une co-analyse du travail par l'enseignante et le chercheur à partir d'une séance de classe filmée- a été organisée permettant un retour réflexif sur la gestion du premier débat portant sur les conceptions initiales -Séance N°2, Annexe 27-. L'entretien a été conduit selon les analyses professionnelles mises en valeur par Yves Clot (1999) qui sont inspirées des méthodes en psychologie du travail basées sur l'étude clinique de l'activité professionnelle. L'enseignante a pu ainsi réaliser la centralisation des interactions langagières par son temps de parole, par son jugement inconscient de réponses des élèves, par le retour systématique de parole à l'enseignante induit par l'attitude des élèves s'adressant uniquement à elle. C'est pourquoi le débat de classe plus tardif sur l'identification des ammonites a été retenu au vu de la réalisation essayant de faire évoluer certains de ces aspects. Outre les nombreuses traces écrites lors des travaux de groupes et les traces collectives en alternance, ce projet a été finalisé par une activité d'institutionnalisation du concept de fossile s'inspirant d'un questionnaire-bilan (*La documentation par l'image* N° 72, 1997, pp. 40-42).

9. 1.2 Les situations antérieures, un questionnement foisonnant et une investigation plurielle : de la diversité des objets fossiles à leurs origine, nature et formation (7 séances)

Le projet débute par une phase d'**entrée en questionnement** à propos d'un fossile de grande taille, une huître *Gryphea dilatata*, trouvé quelques années avant par un élève lors de la construction du préau de l'école. L'enseignante sollicite les idées de toute la classe sur cet objet fossile. Les interventions fusent sur leur récolte personnelle de divers « cailloux » trouvés dans les environs du village – un petit caillou en forme d'escargot au bord d'une rivière, un caillou en forme d'œuf, un fossile en forme d'arête de poisson, un gros escargot trouvé dans le jardin de sa grand-mère, une petite étoile de mer de deux millimètres dans le champ voisin de la maison, une pierre de remblais, une empreinte de coquillage sur une stalagmite dans la grotte de Merey-sous-Montrond, un caillou plein de traces, un caillou

bizarre à moitié fossile-. En parallèle des questions spontanées sont explicitées et devancent les questions prévues avec l'enseignante pour l'émergence individuelle de leurs conceptions. Nous avons visualisé dans le tableau suivant l'évolution du questionnement de la classe et leur corrélation entre les temps scolaires.

Tableau N°14 : **Questionnement dans la première phase du projet de classe en CM2**

Questions spontanées individuelles d'élèves Séance N°1	Questions programmées par l'enseignante pour l'émergence des conceptions individuelles Séance N°1	Questions collectives retenues et écrites au tableau lors de la confrontation des conceptions (Q1 et Q2) Séance N°2
« Je pense que parfois on voit des choses par terre, le ciment était pas encore sec, on voit des animaux comme ça peut être des pattes de chien. Je voudrais bien savoir si c'est quelqu'un qu'a marché dedans on peut l'appeler un fossile ? » (Julie) « Où c'est qu'on trouve les fossiles la plupart du temps ? » (Axel)	Q1 : Qu'est-ce qu'un fossile ?"	-Avant d'être un fossile qu'était-il ? - Peut-il être coloré ? - Est-ce que les fossiles sont des animaux, végétaux ... qui ont disparu ?
« Parfois on trouve comme ils disaient des formes d'escargots comme ça. Mais les formes d'escargots en fait moi je voudrais savoir comment elles peuvent se former en fait ? » (Julie) « Parce que c'est dur comme ça la pierre, alors comment ça peut se rentrer dedans ? [...]Y'en a qui m'ont dit qu'un escargot par exemple s'est posé dedans et que ça avait fait une forme de coquille d'escargot alors je me demande comment ça a pu faire sur une pierre dure comme ça ? » (Julie)	Q2 : "Comment se forme-t-il ?"	- En combien de temps /d'étapes se forme-t-il ? -Dans quels milieux se forme-t-il ? -Est-il recouvert ? -Avec quoi ? - Les séismes jouent-ils un rôle ? -Y a-t-il une transformation ? (enfouissement- tassement-lourdeur) -et dans quel sens ? du caillou au fossile ou de l'animal au fossile ?
« J'ai vu un reportage (C'est pas sorcier) où y'avait comme une empreinte fossilisée, en fait c'était comme sur une grande falaise qui était tout au dessus. En tout cas, y'avait une empreinte. Comment on pourrait dire qu'un dinosaure peut monter si haut ? » (Edy) Comment un dinosaure avait pu monter sur la montagne ? (Morgane)	Q3 : "Pourquoi, aujourd'hui les scientifiques étudient-ils les fossiles ?"	

La séance de confrontation des conceptions individuelles a été préparée d'une façon autonome par l'enseignante avec l'outil méthodologique proposé (Annexe 1). Une cartographie de l'ensemble des idées spontanées des élèves et de leur répartition est alors structurée (Annexe 28). Les questions s'affinent et la plupart des élèves s'approprient les problèmes scientifiques. L'origine minérale ou organique, la disparition des êtres vivants, le temps nécessaire à la fossilisation et ses processus sont en cours d'être débattus. L'origine organique aura été réglée avant le débat qui nous intéresse par les séances préliminaires.

Le projet s'est poursuivi par **des investigations plurielles** sollicitant toujours l'initiative des élèves. Une première **activité de tri d'animaux marins actuels et fossiles**, dont nous avons déjà expliqué la conception dans le projet de CM1 (Cf. chapitre 5), n'a donc pas eu la même fonction didactique. Des fossiles de végétaux, des frondes de fougères du site houiller de Ronchamp, avaient été ajoutés en corrélation avec les premiers modèles explicatifs des élèves. Puis une **activité de modélisation du processus de fossilisation** s'est effectuée par groupe d'élèves. Les six productions de groupe comprennent différents matériaux choisis par les élèves –galet, feuille, coquillage, coquille d'escargot, sable, terre, argile, craie, eau, plâtre, sel, colle-. Leur élaboration a permis de questionner les relations du fossile avec la roche : essentiellement le changement d'état de l'encaissant dont la possibilité de durcissement d'un sédiment, la transformation de la matière vivante « la feuille, elle est pas encore en roche [...] dans la terre il peut y avoir des roches diluées, pas encore formées » (Mélissa), les notions d'empreinte et de moulage et les différentes possibilités de mise à jour d'un fossile découvert tels les séismes, les travaux de terrassements, un tracteur labourant son champ ou le marteau du paléontologue-. Ces activités ont permis de révéler plusieurs conditions nécessaires à la fossilisation : la perception d'un temps très long, l'enfouissement d'un être vivant « avec le temps le coquillage s'incruste dans le sable », la pression -des sédiments ou d'un pied de mammoth ou de dinosaure !-, une stratification et enfin un liant générant la solidité. Au final la transformation des êtres vivants est appréhendée par une mise en histoire à plusieurs paramètres et en plusieurs étapes dont le retrait de la mer.

9. 2 Le corpus de données, support du débat en classe : les dessins des fossiles récoltés d'ammonites et les conceptions initiales sur leurs analogues vivants

9. 2.1 Une sortie géologique, un fort potentiel didactique (1 séance)

La sortie géologique fait partie des recommandations dans les programmes du primaire, du collège comme du lycée dès l'entrée institutionnelle de cette discipline dans les programmes officiels¹⁸⁶. Différents travaux de recherche en didactique ont validé la sortie comme outil d'enseignement-apprentissage dans l'enseignement primaire (Deunff & Lameyre, 1990 ; Astolfi, 1991 ; Lacoste, 2001) et dans l'enseignement secondaire (Savaton, 1998, Lacoste, 2001). Ces curriculums potentiels proposés dans des classes de primaire, de collège et de

¹⁸⁶ L'enseignement de la géologie, intégré dans l'enseignement de l'histoire naturelle et en remplacement de la minéralogie, a été introduit dès 1847 dans les filières techniques industrielles et agricoles de l'enseignement secondaire. Il fut introduit en 1880 en classe de 4^{ème} pour la filière de l'enseignement général du collège (Savaton, 2002). Il fut introduit un siècle plus tard, en 1985, pour l'enseignement primaire

lycée intègrent une approche naturaliste de terrain et démontrent ses potentialités didactiques. Véritable outil d'apprentissage des concepts de temps –chronologie, durée, isochronie d'une identité paléontologique, stratotype- et d'espace –relief, plan et volume-, la sortie géologique permet de discuter la corrélation spatio-temporelle selon les interprétations des observations diverses sur la nature des roches qui se sont succédé historiquement. La mise en tension entre les observations de terrain et la conceptualisation d'une histoire géologique régionale peut permettre de lever des obstacles épistémologiques liés au raisonnement à trois dimensions dans un cadre spatio-temporel géologique ardu. Retenons que privilégier la sortie géologique est conforté car elle génère une richesse d'authentiques investigations scientifiques irremplaçables en aidant le passage de tout objet physique au concept, car elle favorise une approche méthodologique chère au géologue où modélisation et données empiriques se répondent.

Dans cette perspective et en regard de la région géologique de Franche-Comté propice pour les études paléontologiques, une troisième activité d'investigation a été organisée, **l'exploration d'une marnière** à une vingtaine de kilomètres de l'école dans le village d'Epeugney. Situé sur le plateau jurassien de Montrond, le banc fossilifère prospecté concerne à nouveau l'étage oxfordien, bases de nombreuses buttes-témoins de la région, Montrond, Mont d'or, Cademène et Epeugney (Celet, 1975). L'affleurement résulte du front de taille d'une ancienne carrière pour l'amendement des terres agricoles. Il abonde par une diversité des petites ammonites pyriteuses et par la faune associée d'autres coquilles fossiles – rhynchonelle, térébratule, arche, nucule, littorine, - ainsi que des rostrs de bélemnite, et des articles de pentacrine. La petitesse des fossiles surprend les élèves et a questionné effectivement les paléontologues -plus spécialement les fossiles d'ammonites connus par ailleurs pour leur taille considérable qui en fait des objets de collection convoités-. Plusieurs hypothèses ont été émises par les géologues sur cette petite taille constante des fossiles dans cet étage oxfordien du Jurassique. La plus couramment admise est une meilleure conservation du tour interne des coquilles d'ammonites lié à la pyritisation alors que les loges plus récentes, non pyritisées mais argileuses se désolidarisent. Par corrélation avec d'autres gisements, elle est vérifiée pour les trois familles principales de ce site fossilifère, les Cardiocératidés, les Oppélidés et les Périssphinctidés. Les deux autres hypothèses sont liées à l'âge de l'animal ou à l'espèce. Cette dernière a été confirmée pour une espèce qui est le fossile stratigraphique de référence puisque ce niveau est appelé « Marnes à *Creniceras renggeri* » (Celet, 1975, p. 12). De plus cette espèce présente un dimorphisme sexuel à l'état adulte, supposé déjà au XIX^e siècle par Alcide d'Orbigny chez les ammonites. Particulièrement chez cette espèce il a été démontré par une étude de la protoconque et de la répartition statistique dans les mêmes strates (Babin, 1971, p.90) ¹⁸⁷. L'autre forme sexuelle,

¹⁸⁷ A vérifier si l'hypothèse est confirmée actuellement, non stipulé sur le site Transtyfipal

de plus grande taille, avait été nommée initialement dans un autre genre, *Taramelliceras richei*.

9. 2.2 Des objets fossiles aux observations paléontologiques (1 séance)

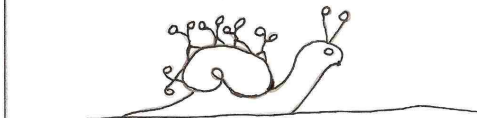
Au retour de la sortie **une activité d'observation des fossiles** a été menée accompagnée d'**une activité de conception de leurs analogues vivants**. Les élèves devaient choisir chacun un des fossiles récoltés et répondre à la consigne suivante « J'observe, je dessine un fossile et je dis comment cet animal vivait avant ». L'objectif visé était de les confronter aux difficultés de reconstitution d'un ancien vivant dont les restes sont partiels, d'autant plus si c'est un animal disparu. La plupart des élèves ont choisi une ammonite, ce choix a certainement été orienté par leur abondance ou par la proposition dans la consigne de sélectionner un animal – au total douze fossiles d'ammonites plus ou moins complets, deux rhynchonelles, un rostre de bélemnite et une tige de pentacrine. D'emblée une diversité de propositions est imaginée par les élèves concernant les fossiles d'ammonites et leurs analogues vivants, un escargot terrestre (six élèves sur douze), une ammonite (quatre élèves sur douze), une crevette (une élève), et une tortue (une élève) (Annexe 29). Le nombre d'hypothèses posées à l'écrit nous apparaît surprenant car cet objet fossile a priori nous semblait moins problématique qu'un rostre de bélemnite ou une tige d'encrine ! Le même genre d'ammonite peut être interprété de façon fort différente comme l'illustre les deux dessins d'élèves ci-dessous.

Iconographie N°10 : Dessins d'un fossile d'ammonite (Creniceras)
et de son analogue vivant supposé

Lucile



Ces la coquille d'un escargot ?
divisés ~~avec~~ la tête
van



Jean

après



AMONITE

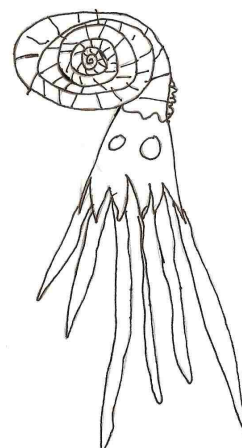
gros
plusieurs
fois

particularité:
petits piques sur le
côté

avant

AMONITE

particularité: nage avec ses longues
tentacules.



Globalement les élèves de cette classe de CM2 sont habitués à l'écoute et au partage des points de vue et ils ont acquis des notions sur l'origine organique des fossiles animaux et

végétaux ainsi que sur le processus de fossilisation avant d'aborder le débat retenu pour cette recherche, une séance de 36 minutes (Annexe 30). Après **l'analyse des dessins légendés de fossiles et de leurs analogues vivants**, l'enseignante a sélectionné les douze productions d'élèves concernant uniquement les fossiles d'ammonites. En réaction à l'analyse d'une prestation antérieure de gestion de débat par autoconfrontation, l'enseignante décide de se décentrer du groupe classe et de servir de secrétaire aux idées importantes des élèves. La volonté de s'attribuer un rôle secondaire s'est traduite d'abord géographiquement par un positionnement de tous les élèves autour d'une grande table sur laquelle les dessins retenus ont été posés avec leurs fossiles correspondants puis par un contrat bien stipulé au tout début du débat « ce n'est pas la maîtresse qui parle, vous essayez de parler entre vous » (Annexe 30, occurrence 15). Par cette institution d'un « cercle de paroles », elle espérait ainsi déclencher une discussion entre pairs plus soutenue et non plus systématiquement des interactions langagières d'élèves avec le professeur, ce qui devait aussi modérer son temps de parole. Le problème scientifique de la détermination des fossiles devait être construit essentiellement par les élèves.

Cette construction sera comparée ultérieurement avec une problématique similaire vécue au XIX^e siècle mais à propos d'une mâchoire de vertébré. En fait les différents épisodes du débat que nous allons analyser maintenant, rappellent la discussion entre un groupe de naturalistes de l'Académie des Sciences de Paris et de la Royal society de Londres au XIX^e siècle que nous analyserons dans le chapitre suivant. A partir d'un même objet fossile, ils envisageaient deux interprétations très dissemblables d'appartenance à un mammifère ou à un poisson (Gohau, 2003, p. 99).

9. 3 Les raisons en jeu dans le débat scolaire : analyse du débat dans le cadre de la problématisation

9. 3.1 Vers la schématisation de l'espace-problèmes, choix d'une controverse sur l'analogie des animaux fossiles et actuels

L'ensemble du débat collectif transcrit et retenu pour l'analyse convoque le problème du passage conceptuel des objets fossiles à leurs analogues vivants à partir des conceptions initiales sélectionnées à propos des ammonites. Ainsi **la problématique d'identification et de reconstitution de fossiles d'ammonites** pourrait déboucher sur les problèmes de morphologie et d'anatomie comparée dans le cadre de la classification actuelle, d'ancêtre généalogique ou de parent proche et enfin d'extinction d'animaux disparus sans référent actuel proche. Dans un premier temps organisons les résultats obtenus de problématisation dans cette classe de CM2 à l'aide de l'outil méthodologique de macrostructure (Fabre &

Orange, 1997, pp. 45-47). La dimension épistémique du débat est révélée par la schématisation en deux temps de l'espace-problèmes construit par les élèves, une approche globale par une macrostructure du débat et une approche ciblée sur la problématique centrale par une macrostructure d'une controverse d'analogie. Voyons comment les élèves naviguent des observations de différents fossiles d'ammonites aux raisons paléontologiques.

Dans une première phase du débat **la problématique est déclinée en trois problèmes principaux**, les critères de ressemblance parmi la diversité des fossiles et des vivants centrée sur les coquillages, la fossilisation partielle, la recherche éclectique d'une parenté des ammonites avec un vivant actuel (Schéma N°22). Deux épisodes manifestent une réflexion générale autour de la diversité des échantillons fossiles exposés et à propos de la diversité des groupes d'apparement envisagés (Annexe 30, occurrences 14 à 259 et 396 à 487). La légende du schéma ci-après différencie et regroupe les réponses partielles de type question/réponse appartenant au même problème fondamental qui constitue un sous-espace de représentation. Quatre ont été différenciés.

Légende du schéma N°22, la problématique de l'identification des échantillons fossiles d'ammonites en classe de CM2

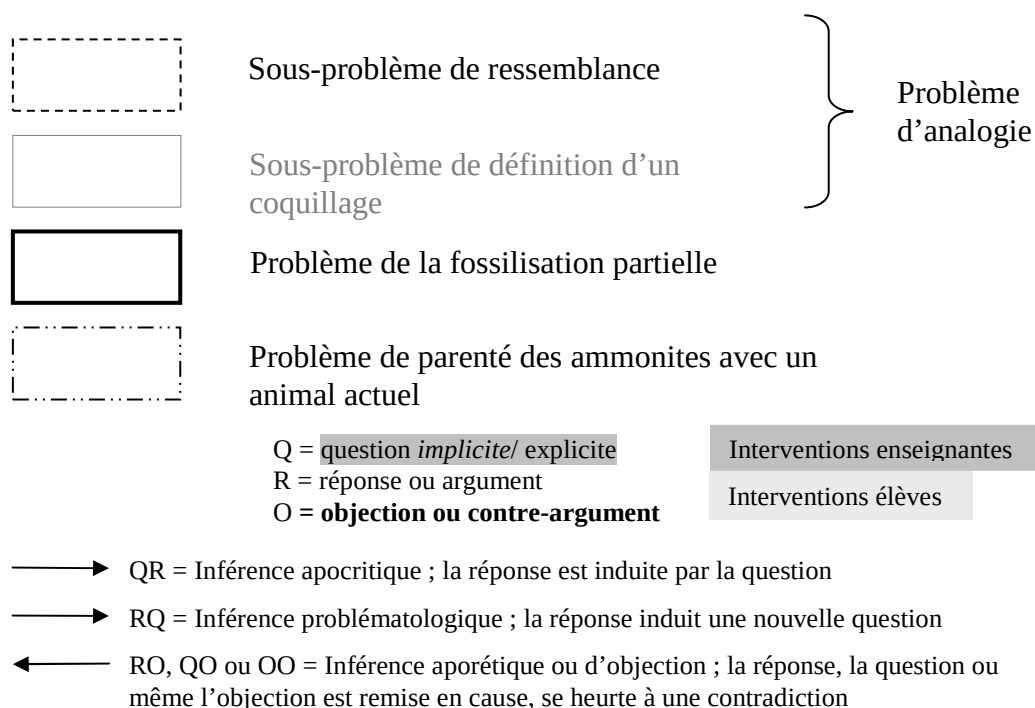
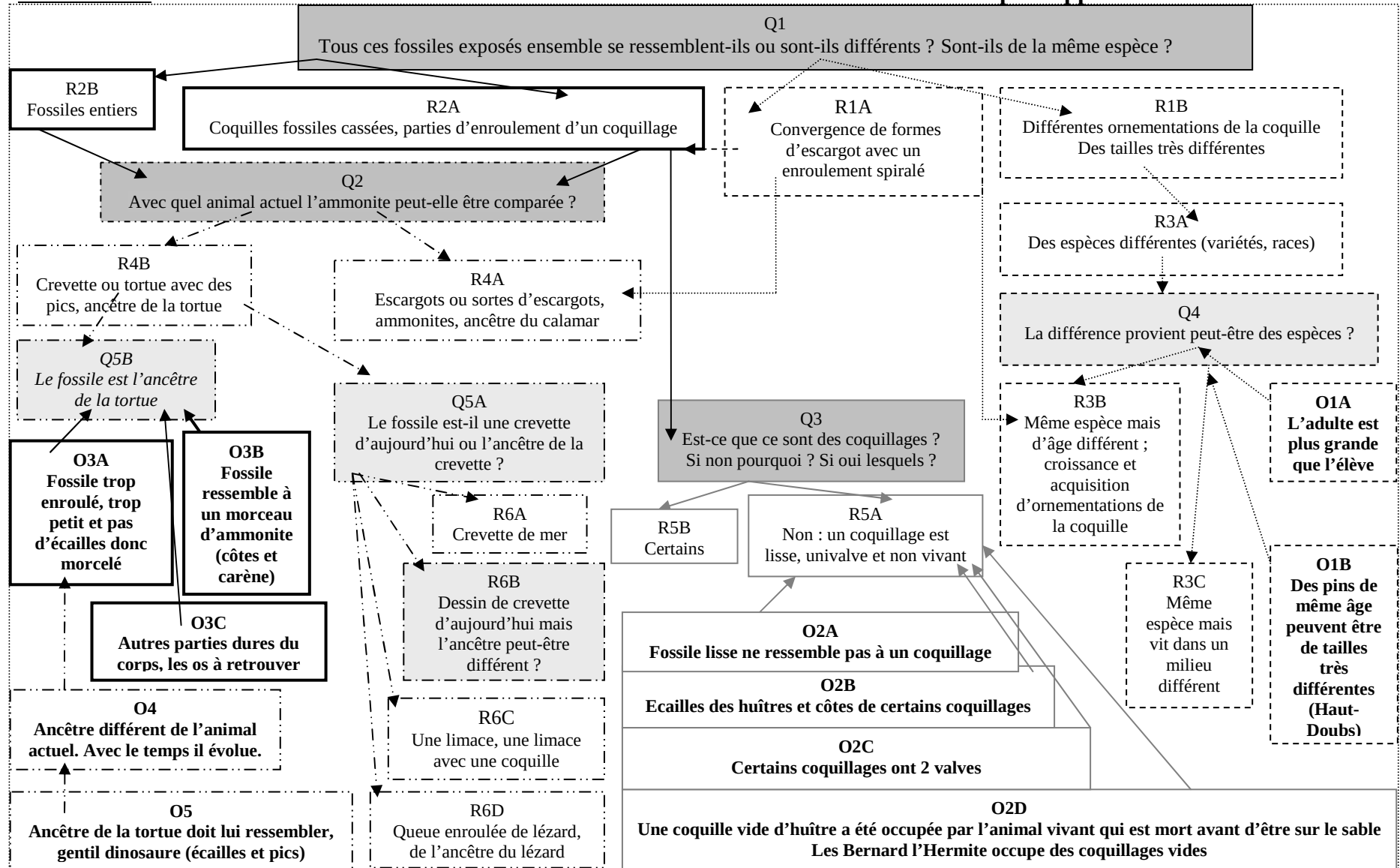


Schéma N°22 : **MACROSTRUCTURE DU DÉBAT** sur l'identification des fossiles d'ammonites par rapport aux animaux actuels



Cette schématisation est fondée sur deux logiques, une conception dichotomique de la problématique pour les embranchements du débat - inférences visualisées par les flèches biaisées - et une conception linéaire pour les enchaînements de la problématique - inférences visualisées par les flèches verticales ou horizontales -. Remarquons que le questionnement mémorisé par la transcription (Annexe 30) est explicité principalement par l'enseignante. Le contrat établi et la liberté de parole plutôt offerte dans la recherche de réponses plurielles engagent les élèves dans des désaccords autorisés. Dans ce cas nous avons affaire aux embranchements du débat qui distinguent ses différentes ouvertures par la divergence d'idées émises sur un même point de vue. Les alternatives de réponses (R1A/R1B) ou de questions concurrentes (Q5A / Q5B) et les objections convergentes (O2A/ O2B/ O2C /O2D) permettent de visualiser des controverses. Les deux principales controverses portent d'une part sur l'appartenance ou non des fossiles à la même espèce (R1A /R1B ; R3A/R3B), et d'autre part sur les fossiles entiers ou partiels (R2A /R2B). Ces deux controverses interagissent l'une avec l'autre.

La première controverse pose le problème d'analogie ou de variabilité au sein d'une même espèce. C'est une recherche de solutions à la première question de l'enseignante (Q1). Les élèves opposent un critère de convergence, la forme spiralée (R1A) avec des critères de divergence, les ornements et la taille (R1B). Précisons que le terme d'espèce n'est pas rigoureusement pris au sens scientifique actuel. Ce sont uniquement les caractéristiques morphologiques et anatomiques qui sont considérées par les élèves -la forme d'enroulement, les diverses ornements de la coquille, la taille, la couleur-, premiers critères observables tel que l'avait utilisé Linné au XVIII^e siècle. Finalement la couleur n'est pas retenue comme un critère pertinent de différenciation par les élèves (Annexe 30, occurrence 459). Puis d'autres causes de la variabilité sont envisagées : l'âge en référence à l'espèce humaine (O1A) et le milieu de vie en référence au pin noir des forêts du Haut-Doubs (O1B). Pour une même espèce, la croissance peut s'accompagner d'une différence de taille et de l'acquisition d'ornements sur la coquille (R3B) « Mais peut-être que quand ils sont grands, ils sont rayés ; quand ils sont petits, ils sont pas rayés parce qu'ils avaient pas de rayure encore. Mais quand ils grandissent enfin la coquille elle devient, elle se raye » (Mélissa, Annexe 30, occurrence 193). Les mêmes conséquences pourraient être dues au milieu de vie (R3C). Par ailleurs **un problème connexe, la définition de coquillage**, est posé en corrélation avec la recherche des similitudes. Il est déclenché par une inférence problématologique –de type R-Q : la réponse relance une nouvelle question-(schéma N° 22, R2A/ Q3). L'enseignante rebondit sur une proposition d'élève pour clarifier ce terme employé de coquillage lorsque Mélissa suggère d'imaginer de continuer le morceau fossile en coquillage enroulé (Annexe 30, occurrences 74-75). Morgane invalide selon elle le fait que les ammonites soient catégorisées comme coquillages. C'est une inférence apocritique – de type Q-R : la question induit une réponse- qui est énoncée dans ce cas (schéma N° 22, Q3/R5A). Pour cette élève,

nécessairement trois critères sont associés pour définir un coquillage, l'absence d'ornementation, être univalve et dépourvu de vie actuelle comme passée. Cette conception initiale individuelle révélée à l'ensemble de la classe mobilise plusieurs élèves pour la contredire et des argumentations fusent (Annexe 30, occurrences 75 à 117 et 205) donnant lieu à des inférences d'objection R5A/O2A ou R5A/O2B (R-O ou Q-O ou OO : une réponse, une question, ou même une objection peuvent être remises en cause, d'où le sens inverse de la flèche utilisée dans la schématisation). La prise en charge argumentaire par Louis, Julie, Jean et d'autres élèves pose des contre-exemples. Le critère d'une surface lisse est pris à double sens de raisons le réfutant comme critère déterminant des coquillages : soit il caractérise d'autres fossiles qui ne sont pas des coquillages, soit il existe des coquillages côtelés ou écailleux comme l'huître. Certains sont bivalves et de plus ils sont vivants avant d'être consommés ou échoués sur le rivage « mais la bête elle peut crever et après la coquille elle peut aller au rivage et après ça peut tomber sur le sable hein ! Et ça c'est un coquillage quand même » (Jean, Annexe 30, occurrence 113). Ou encore un coquillage peut être occupé par un autre être vivant tel le Bernard l'Hermite. Une cascade d'objections est donc exprimée à l'encontre de Morgane.

Or à plusieurs reprises cette première controverse se chevauche avec **la seconde controverse qui s'intéresse à savoir si tous les fossiles sont entiers**. En effet si chaque fossile peut être considéré comme une entité alors l'interprétation des êtres vivants correspondants est très divergente (R4A / R4B ; R6A / R6B / R6C / R6D). Les élèves établissent **des comparaisons ou des filiations entre un fossile d'ammonite et de nombreux animaux**. L'enseignante explicite clairement le nouveau problème auquel les élèves tentent de répondre. Voici l'ordre d'apparition dans le dialogue des différents animaux proposés par les élèves -ressemblants ou supposés descendants des ammonites-: un escargot (occurrence 18), une tortue (occurrence 21), une ammonite confondue phonétiquement avec l'amanite (occurrence 50), une crevette (occurrence 57), un calmar (occurrence 58), un coquillage (occurrence 74), une limace (occurrence 214), une limace avec une coquille (occurrence 242), une queue de lézard (occurrence 244) ou de caméléon (occurrence 249) ou encore d'hippocampe (Florine, occurrence 430). Parmi toutes ces hypothèses trois vont être préférentiellement débattues. Tout d'abord l'hypothèse de la crevette, apportée par Amélie (Annexe 30), est prise en charge par la classe (Annexe 30, occurrences 223 à 235) suite à la question d'un élève qui s'interroge sur la comparaison à établir entre le fossile d'ammonite avec soit l'ancêtre de la crevette ou la crevette d'aujourd'hui (Schéma 22, Q5A). Puis c'est la recherche argumentée de parenté entre une ammonite fossile et un escargot (Annexe 30, occurrences 260 à 395 et 488 à 500). Et enfin l'hypothèse d'une carapace de tortue est discutée (Annexe 30, occurrences 396 à 487) à partir du fossile choisi par Camille (Annexe 30), autre fragment d'enroulement d'ammonite. Cette dernière hypothèse rencontre de nombreuses objections. Dans un premier temps les élèves la réfutent par l'enroulement trop important, par la taille du fossile trop petite et par

l'absence d'écailles (Schéma N°22, O3A). Dans un second temps toutes ces réfutations tendent à conforter l'idée énoncée plusieurs fois depuis le début du débat, celle de coquilles fossiles morcelées.

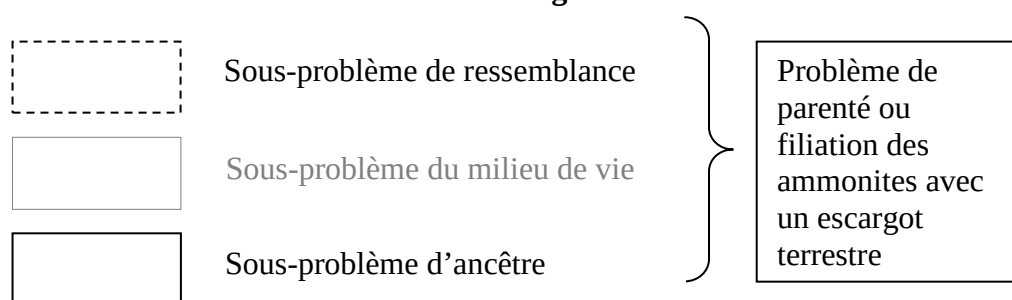
24	E (Timothée) : Ils sont cassés les <i>deux</i> , Ils sont cassés, Ils sont cassés
25	E (Morgane) : Oui ils sont cassés //
26 (6')	E : C'est des parties d'enroulement
27	E (Morgane) : Mais c'est des parties, c'est des parties d'enroule... Ca c'est entier, mais ça c'est <i>pas</i> entier et ça non plus d'abord, ça là-bas non plus
29	E (Mélissa) : Morgane, tu vois ça peut se continuer là parce là on voit, ça peut être un peu cassé, mais ça peut pas être XXX
30	E (Morgane) : J'comprends pas
31	E (Mélissa) : Ca peut se continuer !
36	E : En trouver d'autres <i>mais là heu</i>
37	E (<i>Morgane</i>) : Oui en trouver d'autres
38	E (Louis) : Le compléter
40	E (Camille) : Essayer d'en trouver un autre complet
145 (16')	E (Laurine) : Ils sont tous en... spirales
147	E (?) : Oui mais y'en a qui sont cassés//
398 (30')	E (Louis) : Dès qu'Amélie et pis ... Amélie et Camille elles ont dit, c'était l'ancêtre de la tortue et de la crevette. Ben si ça c'était un bout, la tortue elle aurait une carapace ronde... arrondie et la crevette aussi... C'est peut-être des morceaux !

Par contre si certains fossiles peuvent être considérés comme morcelés, alors ceux-ci deviennent similaires à une ammonite. Et en conséquence l'analogie avec la crevette comme l'a proposé Amélie (Annexe 30) n'a plus de raison d'être débattue. De même l'hypothèse de Camille ayant interprété le morceau fossile comme une carapace de tortue (Annexe 30) sera invalidée aussi, relativement tardivement dans la discussion par Mélissa. L'élève approche le morceau d'enroulement de la coquille d'ammonite d'une ammonite complète, *Cardioceras cordatum*, « Le truc de Camille, ça ressemble surtout à celui-là. Le truc de Camille, ça ressemble à celui-là. Parce que si on le met à côté... ça a la même colonne là (la carène), ça a les mêmes traits (les côtes de la coquille d'ammonite), donc en plus c'est enroulé » (Annexe 30, occurrences 450-452-454-456). La question de parenté du fossile avec une tortue ou avec une crevette est devenu un faux problème (schéma N°22, Q5A et Q5B) ! Et il est définitivement évacué par la preuve irréfutable d'une observation fine de l'identité morphologique avec une ammonite bien caractéristique (schéma N°22, O3B).

Donc lorsque ces problèmes d'analogie et de morcellement s'entrecroisent et s'affinent la **problématique de l'identification des ammonites évolue en une problématique de parenté** dans une seconde phase du débat. Et un désaccord intéressant persiste, le degré possible de différence entre un animal actuel et son « ancêtre », donnant lieu à une cascade d'inférences d'objection (Schéma N°22, O3A / O4 / O5).

Tous ces problèmes précédents débattus ont préparé **la controverse principale sur la parenté des fossiles d'ammonite avec l'escargot en rapport avec l'obstacle d'analogie** que nous allons donc analyser plus finement pour cette troisième étude comparative. Cette controverse s'organise en trois sous-espaces de problèmes, l'analogie discutée entre l'ammonite et un escargot terrestre, les milieux de vie différents actuel et ancien, et la notion de parenté envisageable entre les deux êtres vivants.

Légende du schéma N°23, la problématique de parenté entre les fossiles d'ammonites et l'escargot terrestre actuel en classe de CM2



Q = question *implicite*/ explicite

R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**

————→ QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question

————→ RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question

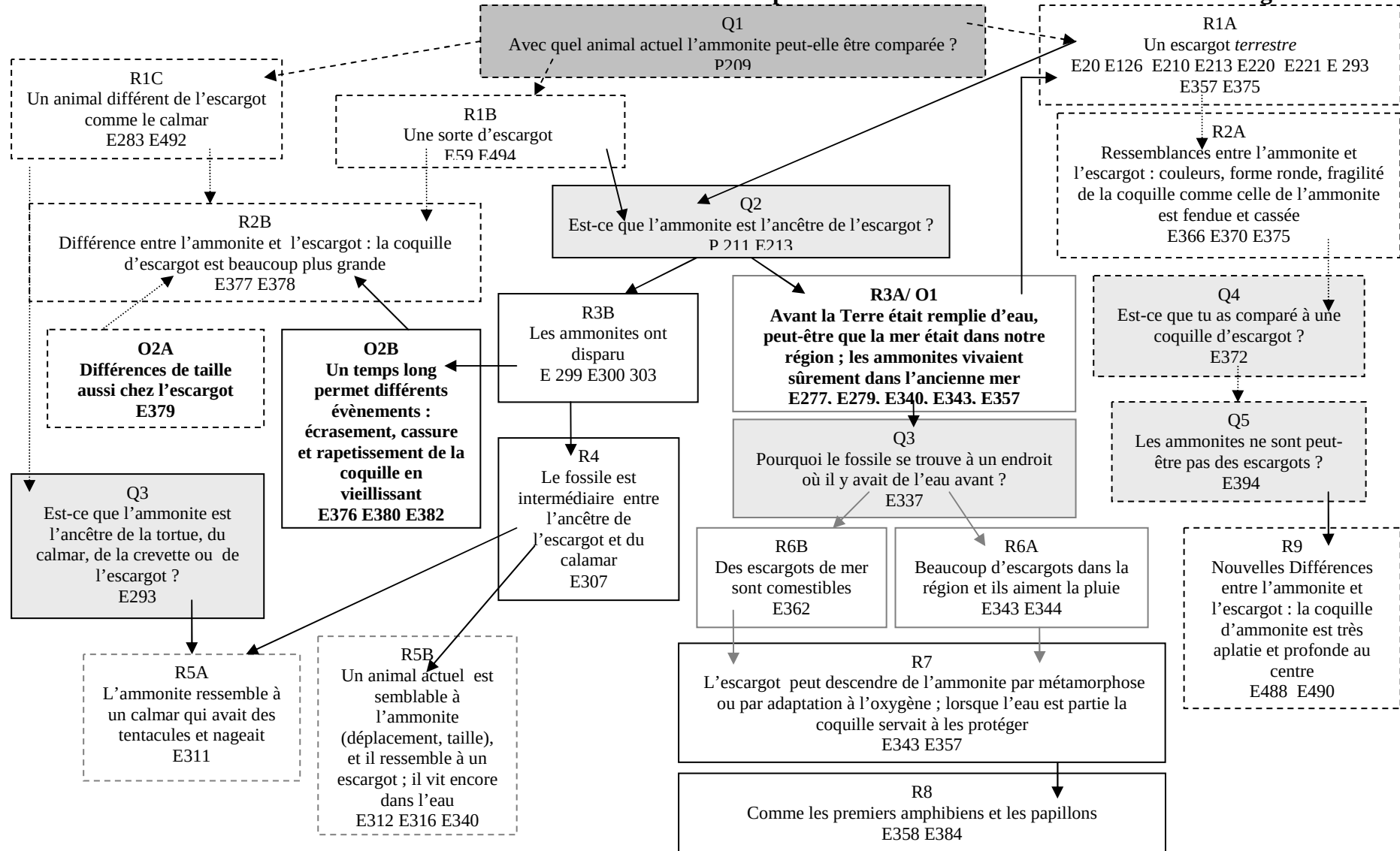
←———— RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 32)

(P) : occurrence professeur

Selon la même méthodologie que précédemment nous avons représenté une macrostructure de la controverse principale (Schéma N°23) en regard des formulations des élèves retenues plus spécifiquement sur le problème de la parenté entre une ammonite et un escargot origine artificielle des fossiles. Cette macrostructure visualise donc seulement une partie de la problématique d'ensemble (Schéma N°22) organisée précédemment. Une analyse plus fine a été effectuée à partir de l'inférence R4A du schéma N°22 qui ouvrait sur l'ensemble des possibles envisagés, centré sur l'escargot pour décliner les fossiles d'ammonites. La légende de la macrostructure se réfère aux formulations d'élèves repérées et retenues (Annexe 31), symbolisées par la lettre E et le numéro d'occurrence de la transcription du débat (Annexe 30, occurrences 260 à 395 et 488 à 500). L'intérêt est de pouvoir revenir à tout moment de l'analyse sur les formulations exactes des élèves de façon à pouvoir discuter les interprétations proposées.

Schéma N°23 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE** sur la parenté entre les fossiles d'ammonites et l'escargot terrestre



Cette controverse mobilise au moins dix élèves (six filles et trois garçons sont identifiés) au total sur les dix-huit élèves de la classe durant les dix minutes d'enregistrement correspondant. La stratégie géographique instaurée pour la discussion fait que presque tous les élèves auront participé à l'ensemble du débat ce qui représente une participation remarquable dans ces trente-six minutes enregistrées pour le total de la discussion. Les élèves **positionnent rapidement la problématique** entre la **thèse** (R1A) d'apparenter le fossile à un escargot terrestre qui revient de nombreuses fois, l'**antithèse** (R1C) de les différencier complètement et la **thèse mixte** (R1B) exprimée finalement par Morgane « Et ben justement une sorte (d'escargot), ça veut dire que c'est pas exactement ! » (Annexe 30, occurrence 494).

La **première thèse d'identité ou convergence avec un escargot terrestre** (R1A), proposée par de nombreux élèves dans leur dessins initiaux comme dans la discussion, renvoie à trois types d'inférences : une inférence assertorique - une réponse induit un complément de réponse R1A/R2A recherchant l'ensemble des critères de ressemblances pouvant valider la parenté-, une inférence problématologique - une réponse déclenche une question R1A/Q2 sur la possibilité que l'ammonite soit l'« ancêtre » de l'escargot- explicitée par l'enseignant et complétée par les élèves- et une inférence d'objection –une réponse provoque une objection R1A/O1 qui met en avant la différence de milieu de vie entre l'ammonite et l'escargot sous deux contraintes théoriques, l'ancienneté des fossiles d'ammonite confortée par leur disparition (R3B) et une planète ancienne couverte d'océans (R3A). Une inférence apocritique est déclenchée par l'**hypothèse marine régionale** (Q3), maladroitement explicitée. En effet la question de Louis peut être comprise de différentes façons : soit une opposition des milieux -actuel terrestre et marin passé- soit une demande d'explication sur le retrait de la mer. C'est la première interprétation qui semble avoir été retenue par les autres élèves puisqu'ils sont plusieurs à envisager une adaptation de l'animal au retrait de la mer qu'ils acceptent. Par relation causale, voici la mise en histoire qu'un trio d'élèves -Jean, Morgane et Mélissa- ont structuré collectivement : des « escargots de mer » (R6B) ou ammonites se seraient métamorphosés en « escargot de terre » grâce à leur coquille de protection (R7). Les différents stades des cycles de vie actuels à développement indirect - les amphibiens et les papillons- leur servent de référence (R8). C'est pourquoi dans notre région nombreux seraient les escargots terrestres qui affectionnent les temps pluvieux (R6A). Cette logique révèle une pensée commune non démentie par la classe. Elle correspond à l'idée d'une sortie des eaux affiliée aux métamorphoses des êtres vivants. Le *Telliamed* au XVIII^e siècle décrivait des métamorphoses empreintes de magie pour expliquer le passage des animaux marins, les poissons volants, aux animaux terrestres tels les oiseaux (Maillet, 1755/1984).

Si les escargots peuvent être considérés comme les descendants des ammonites alors certains élèves conçoivent aussi qu'ils puissent être différents. Cette **seconde thèse de divergence**

plus ou moins modérée est schématisée sous un premier embranchement (R1B et R1C). La distance acceptée avec l'escargot terrestre actuel est plus ou moins grande –le calamar (R1C et R5A), une forme mixte anatomique le nautilus (R1B, R5B), une forme intermédiaire temporelle mi-escargot et mi-calamar (R1B, R4). Contrairement aux ressemblances nombreuses a priori entre l'escargot et l'ammonite (R2A) une seule différence apparaît d'emblée, la taille (R2B) critère qui est rapidement réfuté (O2A et O2B). Des différences tardives sont données par Julie, l'aplatissement de la coquille univalve traduit par un plan de symétrie chez l'ammonite et l'ombilic (R9). Ce dernier argument d'observation approfondie des échantillons semble apporter la preuve irréfutable que l'ammonite ne peut être confondue avec un escargot terrestre actuel. Le doute avait été installé par l'inférence problématologique R2A/Q4 et Q4/Q5 énoncées par Louis. Mais cette dernière preuve laisse en suspens la possibilité de filiation entre les deux animaux. Car en définitive pour les élèves le temps est une cause suffisante pour expliquer tout changement du milieu comme des organismes vivants : l'assèchement des terres de notre région anciennement couverte par les eaux (O1), la transformation des ammonites marines en escargots terrestres (R7), leur taille différente dans le sens d'un rapetissement lié au vieillissement (O2B). Les élèves naviguent en permanence entre le registre anatomique, le registre du biotope et le registre de parenté.

9. 3.2 Vers la schématisation d'un espace de contraintes

De l'espace-problème à l'espace des contraintes il y a méthodologiquement une réduction du corpus étudié et une centralisation vers une **spécificité d'un savoir scientifique, son apodicticité**. Le champ des raisons ouvert aux possibles et aux nécessaires par l'analyse des espaces-problèmes et des macrostructures, se restreint alors aux nécessités. L'espace de contraintes résultant prend appui sur les deux registres spécifiques, empirique et des modèles explicatifs ainsi que sur le cadre épistémique selon une catégorisation de la nature des arguments scientifiques. Nous allons voir combien l'élaboration d'une raison nécessaire est laborieuse pour les élèves à travers les deux principales nécessités co-construites dans cette classe de CM2. Les élèves ont essentiellement mis en avant l'échantillon fossile partiel et la différenciation entre une ammonite et un escargot dont la convergence de forme est trompeuse au premier abord.

Du débat en classe à l'identification des contraintes mobilisées par les élèves

La première étape est celle de **l'identification des contraintes** dans le débat entre élèves, c'est-à-dire les passages obligés qui contraignent le raisonnement des élèves dans leur

cheminement de connaissance commune vers le savoir paléontologique, la fossilisation partielle et la corrélation entre deux êtres vivants passé et actuel. **Différentes réductions de corpus** sont opérées. Les interventions du professeur ne sont pas analysées globalement dans cette étude même si sa posture d'empathie est fondamentale pour réellement mettre les élèves en situation de recherche : par le contrat de prise de parole posé au départ de la séance, par son type de questionnement plus ou moins ouvert et par l'acceptation de toutes les propositions des élèves en égale considération. En outre, même si quasiment tous les élèves se sont mobilisés dans cette séance, seules leurs **interactions langagières en rapport avec la problématique des relations discutées entre les ammonites fossiles et l'escargot terrestre** seront retenues. Nos unités d'analyse sont donc uniquement les occurrences ou les parties d'occurrences des élèves qui argumentent en réponse à ce problème. Le chercheur les retient en interprétant souvent le caractère apodictique de l'intervention de l'élève. En effet elles sont rarement clairement explicitées car le doute persiste chez l'élève s'il n'est pas cautionné immédiatement par l'enseignant. Le conditionnel et les adverbes, tels que « peut-être », sont utilisés fréquemment et les affirmations ne sont pas assurées. Le champ heuristique est beaucoup plus développé que le champ des nécessités. Cette dernière construction semble être bien plus délicate et il est intéressant de repérer comment dans cette classe de CM2, la discussion a permis aux nécessités d'émerger finalement au sein du raisonnement collectif. Plusieurs cas de nécessités sont décelables par l'analyse fine des interactions langagières. Premièrement le raisonnement des élèves est contraint vers une solution validée par **des nécessités suggérées plus ou moins explicitement**.

Louis occurrence 279	« Donc heu ...ils vivaient sûrement dans l'eau »
Jean occurrence 343	« comme on trouve beaucoup d'escargot ici [...] ça s'est métamorphosé en escargot pour résister à l'oxygène »
Mélissa occurrence 357	« comme la Terre était remplie d'eau [...] comme après il n'y a plus d'eau, ils se sont peut-être adaptés... comme les escargots »
Louis occurrence 376	« Avec le temps j' pense qu'il s'est passé différentes choses »
Morgane Camille Occurrences 410-411	« Oui mais c'est l'ancêtre ! » « Donc c'est pas exactement pareil »

Nous pouvons considérer que les adverbes tel que « sûrement » ou les conjonctions telles « comme », « donc » engagent des nécessités explicites. C'est le cas d'une présence de mers anciennes puis de leur retrait dans la région de Franche-Comté. Mais le modèle explicatif d'une adaptation ou d'une métamorphose ayant permis le passage de l'ammonite à l'escargot terrestre d'aujourd'hui garde le statut d'une possibilité et non d'une nécessité. Néanmoins cette possibilité engage une autre nécessité implicite ou dérivée, celle d'un temps long, nécessité première de tous les possibles. Puis cette dernière elle-même engendre la nécessité explicite qu'un ancêtre soit obligatoirement différent de l'animal actuel. Il nous faut d'ailleurs

différencier ce cas de nécessité collective co-construite et maintenue par l'échange discursif d'une nécessité plaquée comme modèle explicatif individuel –tel l'élève Morgane qui s'était construit une représentation erronée d'un coquillage.

Deuxièmement **les nécessités sont déduites « en miroir » des impossibles explicités ou même tacites** là encore. Dans cette étude de cas c'est essentiellement la méthodologie d'observation par les élèves qui s'est affinée et qui a permis de les générer d'une façon irréfutable. Concernant la controverse du fossile entier ou partiel voici l'évolution des échanges langagiers entre élèves.

Louis occurrence 398	« Dès qu'Amélie et pis ... Amélie et Camille elles ont dit, c'était l'ancêtre de la tortue et de la crevette. Ben si ça c'était un bout, la tortue elle aurait une carapace ronde... arrondie et la crevette aussi... C'est peut-être des morceaux ! »
Louis occurrence 400	« Donc elle aurait une carapace ronde la tortue »
Mélissa occurrence 409	« La tortue ça a des écailles, pas des traits »
Julie occurrence 413	« Parce que ça aurait pu être une petite tortue, comme chais plus qui c'est qui l'a dit. Ca serait peut-être un petit peu trop petit comme ça »
Mélissa occurrence 450	« Le truc de Camille, ça ressemble surtout à celui-là »
Mélissa occurrence 452	« Le truc de Camille, ça ressemble à celui-là »
Mélissa occurrence 454	« Parce que si on le met à côté... »
Mélissa occurrence 456	« Ca a la même colonne là, ça a les mêmes traits, donc en plus c'est enroulé »

A travers ces interactions langagières sélectionnées nous constatons que les objections se multiplient – la forme trop ronde d'enroulement, la taille trop petite, l'ornementation-. Peu à peu le doute s'accroît et pour finir il est crédité devant l'évidence d'une identité morphologique de deux échantillons du genre *Cardioceras* –la carène que l'élève qualifie de « colonne », les côtes bifurquées, l'enroulement-. Mélissa avait, relativement tôt dans la discussion, repéré ces similitudes ; elle avait déjà voulu faire comprendre à Morgane que certains fossiles n'étaient qu'une partie cassée qui peut se continuer en imagination par référence aux autres fossiles plus complets « Morgane, tu vois ça peut se continuer là parce là on voit, ça peut être un peu cassé » (Annexe 30, occurrence 29) ou encore vis-à-vis d'Amélie ayant dessiné une crevette « Oui mais elle aurait pu peut-être, comme c'est cassé là, ça aurait pu p'tre continuer faire un coquillage » (Annexe 30, occurrence 74). Mais à ces moments là de la discussion, ses interlocuteurs et le reste de la classe sont encore loin de s'approprier cette explication. La démonstration définitive, gestes à l'appui, est adressée à Camille qui avait interprété son fossile choisi comme un morceau de carapace de tortue. Le consensus tacite alors sur l'impossibilité que ce fossile soit un reste de tortue ou même de son ancêtre évacue complètement cette possibilité débattue antérieurement. En simultanée cette

impossibilité est transformée en une nécessité, la validation d'un morceau d'un même fossile d'ammonite.

La dissemblance entre une ammonite et un escargot présente un cheminement de raisonnement similaire convergent vers l'invalidation pour les fossiles d'ammonites d'être assimilés à des escargots.

Louis occurrence 372	« Oui, MAIS Alyson, est-ce que t'as comparé... à une coquille d'escargot ? ».
Camille occurrence 377	« Pis aussi, l'escargot, leur coquille elle est beaucoup plus grande »
EEE occurrence 378	« Ah ben oui voilà XXX (<i>la maîtresse vient de déposer sur la table une coquille d'escargot de Bourgogne</i>)
Louis occurrence 383	« P'tre que c'était pas pareil »
Louis occurrence 394	« C'est p'tre pas des escargots ? ! »
Julie occurrence 488	« Mais par contre, quand on a travaillé sur les fossiles et tout, moi j'ai quand même encore une question. Donc par rapport à ce qui ont fait les autres. Mais ça par rapport à ...par exemple Florine, elle a dit que c'était un escargot. Par contre les escargots c'est plutôt, c'est pas aussi plat que ça »
Julie occurrence 490	« Je me demande comment parce que là ça... Mais là c'est plus profond, c'est de plus en plus profond »

C'est d'un point de vue méthodologique qu'un élève, Louis, intervient en invalidant la démarche comparative de sa camarade, Alyson, qui affirme que le fossile est un escargot. L'assertion est remise en cause et le besoin de comparer avec un escargot est manifeste. L'enseignante apporte une coquille vide d'escargot de Bourgogne au centre de la table de discussion (Annexe 30, occurrence 378) qu'elle avait à disposition dans sa collection de classe et qu'elle aurait d'ailleurs pu mettre plus tôt sur la table (Annexe 30, occurrence 144). Au final c'est Julie qui démontre le critère principal de plan de symétrie de la coquille des ammonites et l'enroulement différent avec un ombilic qui forme un creux central. Au vu de ces différences trop grandes, l'ammonite nécessairement n'est pas un escargot ! Mais si le rapprochement entre ces deux êtres vivants est éliminé, les hypothèses persistent de calmar ou de nautilus, un autre animal marin mi-ammonite mi-escargot dont Camille ne se rappelle plus le nom (Annexe 30, occurrences 316) et aussi d'ancêtre. Car la question du degré de variabilité acceptable entre un « ancêtre » et un animal actuel de forme convergente reste en suspens.

Des contraintes identifiées à leur catégorisation

Nous reprenons méthodologiquement les deux types de catégorisation utilisés précédemment : la fonction argumentative soit de fermeture (Cf) soit d'ouverture (Po) du raisonnement par rapport au problème en construction, la nature argumentative soit empirique (CE) soit explicative (CM) soit théorique (CT) soit mixte (CE-CM). Choisissons un extrait du débat

transcrit (Annexe 30) durant lequel les interactions langagières se sont passées principalement entre élèves. Et suivons comment la catégorisation des contraintes peut s'effectuer sous ces deux angles afin d'être positionnés dans la schématisation d'un espace de contraintes lors d'une dynamique de controverse –affiliation ou non à un escargot terrestre de l'ammonite couplée au fossile entier ou partiel-. Les occurrences interprétables dans ce sens par le chercheur, sont marquées en caractère gras dans le tableau ci-dessous).

Tableau N°15 : **Extrait d'une controverse scolaire sur la parenté entre des fossiles d'ammonites et des animaux actuels, catégorisant les interventions des élèves selon la nature ou la fonction des arguments avancés**

Numéro d'occurrence	Interactions langagières élèves	Catégorisations
357	E (Mélissa) : Ben moi je dis que comme les premiers, les premiers fossiles, comme la Terre était remplie d'eau ben p'tre que là aussi alors ils se sont adaptés à l'eau, la coquille ça servait à les protéger et comme après il y a pu d'eau , ils se sont peut-être adaptés... comme les escargots , enfin	Po CT CM/CE-CM CT CE
358	E (Louis) : Ah oui comme les premiers êtres amphibiens	CE Po
360	EEE : Ca existe XXX	
362	E (Lucile) : Il y a des escargots de mer et les escargots de mer ça se mange !	CE Po
364	E (Axel) : Moi, j'y vais pas alors	
366	E (Alyson) : Moi j'ai dessiné ça parce que déjà, ça m'a fait pensé car déjà quand je l'ai regardé, y'avait des couleurs qui ressemblaient à l'escargot quand j'ai regardé comme ça	Cf CE
367	E : Bof	
368	E (Alyson) : Si !	
370	E (Alyson) : Pis après quand j'lai regardé j'lai <i>retourné</i> plusieurs fois j'ai vu que ça faisait quelque chose de rond comme l'escargot pis heu... j'lai dessiné	Cf CE
372	E (Louis) : Oui, MAIS Alyson, est-ce que t'as comparé... à une coquille d'escargot ?	CE Cf
373	E (Alyson) : Ben heu ...	
374	E : Non	
375	E (Morgane) : Mais moi ça, ce truc-là, ça, ça aurait pu être une coquille d'escargot parce que heu une coquille d'escargot , c'est vachement fragile et là par là on a l'impression que ça tout était fendu heu, tout était écrasé	CE Po CM
376	E (Louis) : Avec le temps j' pense que heu, il s'est passé différentes choses hein	CM Cf
377	E (Camille) : Pis aussi, l'escargot, leur coquille elle est beaucoup plus grande	CE Po
378	EEE : Ah ben oui voilà XXX (<i>la maîtresse vient de déposer sur la table une coquille d'escargot de Bourgogne de la collection de la classe</i>)	
379	E (Morgane) : Oui mais aussi y'a des p'tits escargots et des grands escargots	CE Cf
380	E (Axel) : Si elle aurait été écrasée , à mon avis elle aurait cassée hein !	CM Po
381	E (Morgane) : Ben justement c'est c'qu'j'dis	
382	E (Mélissa) : XX Oui mais elle est vieille, elle se serait rétrécie à force	CM Cf
383	E (Louis) : P'tre que c'était pas pareil	CM Po
384	E (Camille) : Comme les papillons on les écrase XXX	CE Po

Les échanges discursifs des élèves naviguent entre des contraintes de fermeture du problème (Cf) qui tendent à valider la solution d'une corrélation forte entre l'ammonite et l'escargot terrestre –couleur, forme, fragilité, taille et âge variables- et des possibilités d'ouverture du problème (Po) qui tendent à investir d'autres hypothèses. La différence de milieux de vie, la différence de taille, la référence à d'autres cycles de vie à développement indirect des amphibiens et des insectes induisent l'idée d'une transformation possible sur un temps long nécessaire. Mais l'ascendance supposée de l'escargot actuel par une ammonite fossile disparue construit une corrélation encore forte. Les registres empiriques et globalement explicatifs sont mobilisés dans ce **jeu verbal entre une fermeture du débat sur les nécessités et une ouverture du débat sur les possibles**. L'organisation de la séance permet de développer **un registre empirique important** par une comparaison pointue essentiellement morphologique accessible aux élèves. Les premières activités de tri d'animaux et de fossiles puis la récolte avaient déjà sollicité cette démarche. Cette approche est doublée d'une comparaison éclectique parmi la diversité des vivants actuels familiers des élèves –tortues, crustacé, mollusques gastéropode et céphalopode, poissons osseux¹⁸⁸, lézards- ainsi que les incontournables dinosaures ! Malgré tout les élèves gardent le cap de la problématique spécifique de corrélation entre l'escargot actuel et le fossile d'ammonite pour élaborer progressivement en parallèle des idées liées au **registre des modèles**. Ceux-ci comprennent des solutions explicatives diversifiées comme le changement de milieu associé à une protection commune, une métamorphose, un écrasement, un vieillissement.

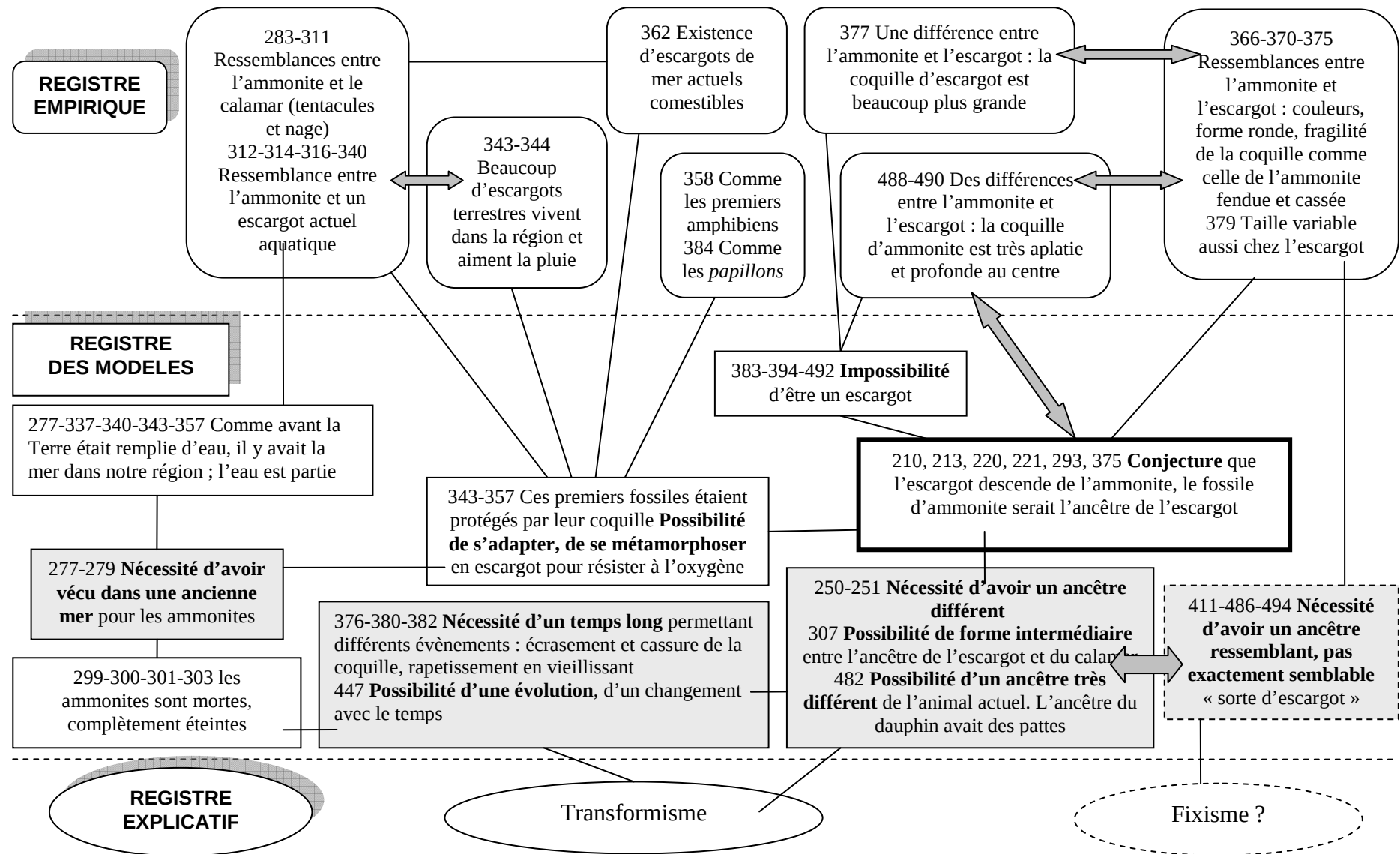
9. 3.3 Des mises en tension repérées au sein de l'espace de contraintes : représentation globale et analyse

En définitive l'analyse du **cheminement intellectuel de la classe** aboutit à une schématisation globale du cœur de la situation-débat à propos du fossile d'ammonite (schéma N°24), appelée **"espace de contraintes en jeu"** (Orange, 2000, p. 62). Chaque argument est décliné par un ou plusieurs numéros correspondants aux occurrences retenues de la séance transcrite (Annexe 30) d'après leur pertinence avec le problème débattu. De nombreux élèves ont participé et certains de leurs arguments convergent vers une conception similaire dans cette problématisation collective. Après avoir été catégorisés dans le registre empirique ou explicatif, ils sont regroupés comme une co-construction conceptuelle identique. La situation de débat collectif permet de faire émerger des raisons qui apparaîtront comme nécessaires,

¹⁸⁸ Il est curieux de repérer que les élèves ont pensé à comparer l'enroulement des fossiles d'ammonites à une queue d'hippocampe alors que les biologistes désignent ainsi une zone cervicale par l'association de ces mêmes noms « hippocampe » et « corne d'Ammon »

impossibles ou comme possibles voire conjecturelles dans la recherche d'une solution par l'ensemble des élèves sur le rapport à construire entre une ammonite et un escargot terrestre. La problématisation consiste à **mettre en tension un registre empirique et un registre des modèles** développés dans le temps d'un débat collectif. Les raisons s'articulent selon deux types de liens non orientés chronologiquement, une articulation simple - visualisée par des traits- ou une articulation de tension –visualisée par une double flèche-. Cette dernière marque les points de désaccords entre les arguments et contrarguments de la controverse. Ils peuvent appartenir au même registre ou montrer une résistance entre des registres différents. Les désaccords argumentés constituent **les nœuds du débat scientifique**. Au sein du registre empirique les explications scientifiques divergentes avancées par les élèves portent essentiellement sur deux points : premièrement les ressemblances et différences morphologiques et secondairement l'opposition des milieux de vie des deux êtres vivants considérés, une ammonite nageant dans une ancienne mer et un escargot terrestre actuel. Ce second axe argumentatif est fondé sur deux contraintes théoriques, l'existence de mers couvrant tout le globe terrestre et la disparition des ammonites qui révèlent une histoire ancienne de notre planète. Il est intéressant de noter l'inversion du raisonnement des élèves par rapport à celui construit en histoire des sciences. En effet pour les naturalistes, cette présence de mers anciennes, si difficile à être acceptée, est déduite des fossiles tels ceux d'ammonites ou des dents de requins ; et les fossiles n'ayant pas d'analogues vivants actuels, tels ceux d'ammonites ou d'autres coquilles, ont mis du temps à être conçus comme animaux disparus sur Terre par les communautés scientifiques. Alors que pour les élèves, la présence d'une ancienne mer est une contrainte théorique non questionnée, de même que l'extinction des ammonites, acceptée sans discussion. La problématique des élèves est déplacée vers le lien de parenté entre un mollusque actuel vivant dans leur région et l'ammonite, ancien mollusque marin. La contradiction principale résulte de la conception d'une identité ou d'une différence entre l'animal actuel et son présumé « ancêtre ». C'est pourquoi le nœud primordial de la controverse articule les deux registres, le registre empirique et le registre des modèles qui interagissent sur le degré acceptable de différences entre une ammonite et un escargot. L'espace des contraintes et des possibles ci-dessous visualise l'ensemble des corrélations simples et des mises en tension problématisantes par désaccord des élèves.

Schéma N°24 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES de la controverse de parenté entre l'ammonite et l'escargot**



La corrélation des nécessités schématisées semble révéler un certain ordre d'inférence : nécessité d'une ancienne mer dans laquelle vivaient les ammonites et de son retrait, puis nécessité d'une métamorphose de l'ammonite en l'escargot. Or si les métamorphoses des amphibiens et des papillons, auxquelles se réfèrent les élèves, ne demandent pas de longues durées, ils envisagent tout de même un temps long pour expliquer la filiation entre l'ammonite et l'escargot. Car seul un temps long permettrait d'acquérir des différences importantes entre un animal actuel et son ascendant fossile. Mais ces dernières nécessités reposent sur la condition théorique d'admettre une filiation entre une ammonite et un escargot terrestre qui au final ne devra pas être validée. C'est pourquoi dans le schéma de l'espace des contraintes, le terme de possibilité a été gardé associé à l'idée d'adaptation et de transformation. Les raisons des élèves de cycle 3 nous alertent sur leur capacité de mobiliser des idées explicatives et des faits puisés dans la biodiversité actuelle. Les élèves ont pris conscience de la pluralité des caractéristiques morphologiques et écologiques qui peuvent être prises en compte dans une étude comparative. Ils ont relativisé le caractère informatif de la taille et de la couleur par rapport à l'enroulement de la coquille d'où une hiérarchisation primordiale des critères. Ils ont affiné leurs observations redécouvrant l'importance d'un plan de symétrie de la coquille spiralée de l'ammonite par rapport à une coquille tordue d'escargot. **Cette émergence des nécessités en gestation, cette prudence des possibles explicités, cette apparition d'impossibilités** nous offrent une cartographie des raisons abordables à ce niveau de classe du primaire. A l'enseignant, par sa vigilance pédagogique et sa culture scientifique, de savoir les exploiter pour les conduire vers la construction de nécessités admises par la communauté scientifique. Car ces nécessités construisent une mise en histoire dans un cadre globalement transformiste dominant en opposition avec un cadre fixiste, tous deux non validés en tant que tel. D'ailleurs les élèves proposent une gradation de distinction acceptable entre un animal actuel et son ancêtre –ressemblant, pas exactement semblable, différent, intermédiaire, très différent. Cette problématisation avait déjà été évoquée par les élèves pour une tortue actuelle et son ancêtre supposé « un gentil dinosaure avec des écailles et des pics sur le dos » (Annexe 30, occurrences 438 à 447 ; schéma N°24, O4 et O3A /O5). En regard du savoir scientifique reste à construire ultérieurement avec les élèves comment les scientifiques ont modélisé un degré de parenté en s'appuyant sur un choix et une polarisation des critères morphologiques qui rendent probable une filiation. La tolérance d'une variabilité spécifique et taxonomique est toujours un problème d'actualité. Le poids d'une démarche argumentative, de questionnement et d'hypothèses favorise sa problématisation comme il a favorisé la construction du problème par les élèves.

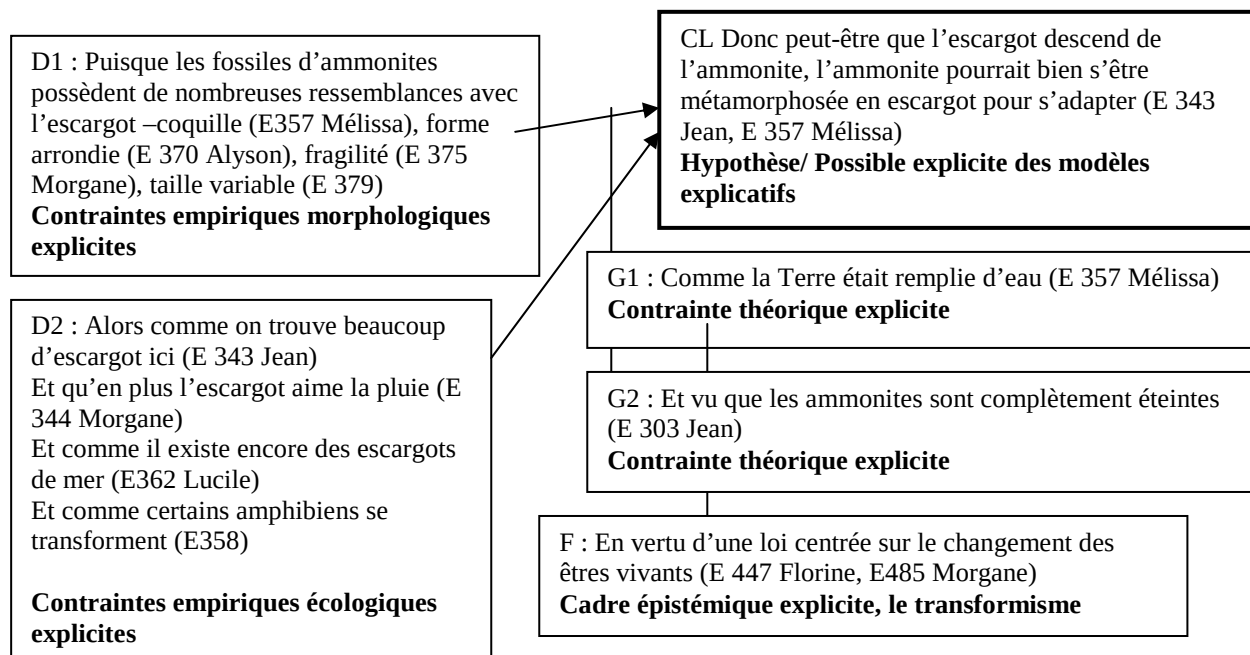
9. 4 Approche langagière

Nous venons de voir que les élèves de CM2 ont été capables d'établir des contraintes mais qu'ils maintiennent globalement une démarche heuristique en défaveur d'une démarche apodictique. La bascule d'une possibilité vers une nécessité est-elle plus de l'ordre de l'interprétation du chercheur ou peut-elle être confortée par l'analyse de la logique argumentative des élèves, associée à leur questionnement fécond ?

9. 4.1 Lien entre problématisation et argumentation : les fonctions argumentatives des activités langagières dans la problématisation

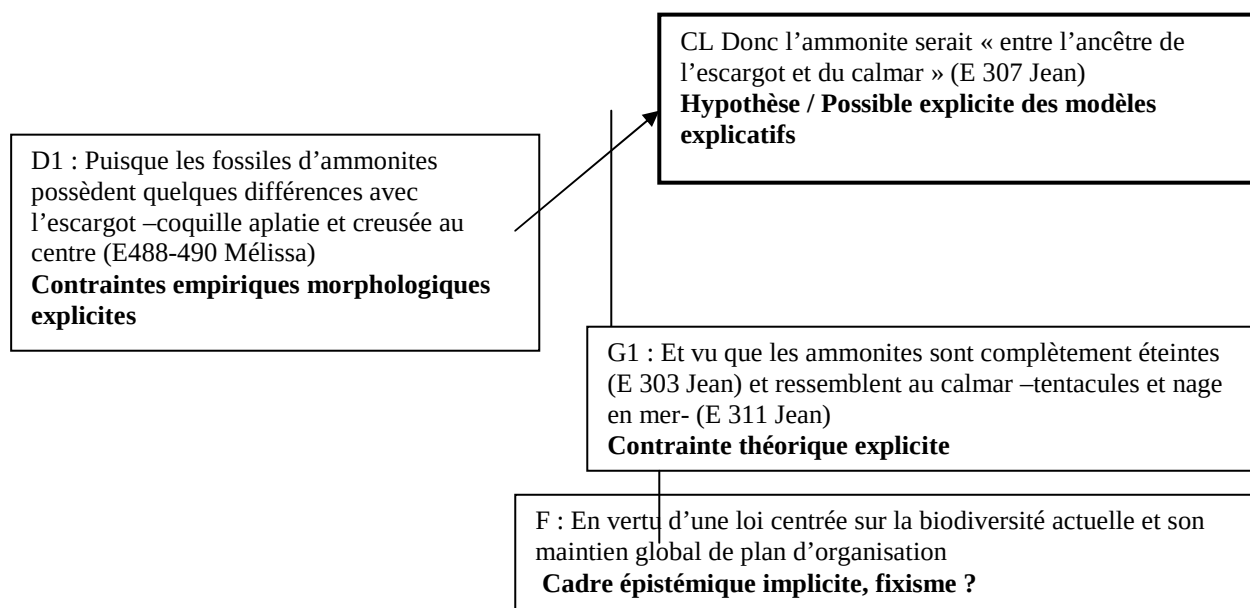
Ainsi la controverse pertinente dans la classe en regard de l'actualité scientifique est celle de l'homologie –structure convergente par parenté- et de l'analogie –structure convergente par fonction- entre deux espèces vivantes qui possèdent toutes deux une coquille enroulée. Le développement d'une argumentation est un apprentissage fondamental repéré dans ces situations-débats où les élèves prennent en charge véritablement le problème de parenté. La négociation entre élèves est rude de ce « nœud argumentatif » qu'est la ressemblance entre une ammonite et un escargot. Elle peut être schématisée sous deux logiques argumentatives opposées qui génèrent en fait la dynamique de problématisation. La schématisation de Toulmin nous sert de cadre d'analyse de cette discussion collective scientifique. La première schématisation illustre la logique d'une conjecture de parenté relativement consensuelle et la seconde illustre une logique de sa réfutation.

Schéma N° 25 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE d'une homologie entre une ammonite et un escargot terrestre**



*D = donnée, valeur particulière ; G = garantie, valeur générale ; CL = déduction ; F = fondement
 E = différentes occurrences d'élèves transcrites dans le débat*

Schéma N° 26 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE d'une analogie entre une ammonite et un escargot terrestre**



*D = donnée, valeur particulière ; G = garantie, valeur générale ; CL = déduction ; F = fondement
 E = différentes occurrences d'élèves transcrites dans le débat*

Il est intéressant de remarquer que **la validité d'une contre-argumentation** peut tenir sur une seule preuve (schéma N°26) à l'encontre du nombre de critères de ressemblances morphologiques et écologiques étayées précédemment (schéma N°25). Dans les deux cas nos conclusions selon la logique de Toulmin sont des **hypothèses données a priori** dans le débat de classe, l'espèce ancestrale et l'espèce intermédiaire ; et les élèves cherchent ensuite à les valider par des arguments disparates. Les mêmes élèves tels Méliissa et Jean se sont mobilisés dans l'argumentation des deux systèmes explicatifs, leur **raisonnement est prioritairement heuristique** et il n'est pas stabilisé dans un registre explicatif donné.

Même dans une classe de primaire nous pouvons voir émerger des questionnements qui ont des liens avec des problématiques centrales actuelles en biologie et en paléontologie de l'évolution. Mais les problèmes soulevés par les élèves restent éloignés des problématiques savantes actuelles. La première problématique qui apparaît dans ces deux macrostructures argumentatives est celle des liens construits de parenté ou non démontrés à partir d'un squelette externe, la coquille. La coquille est-elle un caractère homologue, innovation biologique d'un ancêtre commun aux céphalopodes nautiloïdes tels l'ammonite et aux gastéropodes pulmonés tels l'escargot puisque tous deux sont des mollusques ? Ou alors la coquille d'un gastéropode et d'un nautilus est-elle un caractère analogue puisque de nombreux groupes ont acquis une protection carbonatée diversifiée (valve, test, spicule) dans des phylums divers ? Fondées sur des données morphologiques, la finalité de la cladogenèse permet justement de trancher a posteriori entre une « fausse ressemblance » ou homoplasie/convergence adaptative et une « vraie ressemblance » ou homologie par filiation. Mais la méthodologie de la cladogenèse est hors de portée des élèves du primaire pour différentes raisons. Le concept d'évolution est un postulat préalable au raisonnement cladistique et il permet d'interpréter la classification des êtres vivants. Or les élèves du primaire commencent seulement d'appréhender les principes de classification en recherchant les différences et les points communs entre les êtres vivants afin d'envisager des liens de parenté entre espèces. Ce qui fait que dans notre réflexion didactique, la collection d'espèces dont nous voudrions connaître les relations de parenté serait disparate puisqu'elle est constituée à partir des propositions des élèves selon notre position d'enseignement-apprentissage. Notre choix serait orienté par les animaux actuels les plus débattus et nommés par les élèves : un escargot, un calmar, un nautilus, un coquillage bivalve, une crevette et une tortue, en regard de l'ammonite fossile au cœur de l'investigation. Notons que les céphalopodes font partie des échantillons déconseillés pour la constitution des collections anticipées pour des situations d'enseignement-apprentissage (Lecointre, 2004, p. 304). Sur le même principe notre choix des attributs considérés serait guidé par les caractères repérés comme différences morphologiques par les élèves : présence ou absence de coquille, coquille spiralée ou tordue, tête entourée de tentacules ou non, présence ou absence d'os, présence ou absence de pattes. Notons que leur polarisation –détermination des attributs primitifs et

dérivés, c'est à dire évolués par rapport à un état ancestral- est délicate, basée sur des hypothèses a priori de caractères primitifs et sur le concept de descendance des espèces avec modification des caractères.

En corrélation la seconde problématique savante actuelle est la chronologie des innovations biologiques combinée à la répartition stratigraphique des fossiles. Or les élèves ne raisonnent pas du tout par rapport à la superposition des strates fossilifères. Pourtant le rôle fondamental des fossiles est bien de constituer des indicateurs d'une chronologie relative. Et dans ce sens la paléontologie nous renseigne sur les plus anciens fossiles de chaque groupe. En conséquence dans les reconstitutions phylogénétiques, seuls les fossiles permettent la mise en histoire des innovations évolutives pour reconstruire la descendance des êtres vivants organisés actuels et passés. L'apparition de la coquille est effectivement une innovation biologique importante qui, dans les temps géologiques, s'est passée entre -680/-640 millions d'années et -530/-570 millions d'années. Cette acquisition est attestée respectivement par comparaison entre les faunes fossiles exceptionnelles d'Ediacara en Australie et de Burgess au Canada. Plus de cent millions d'années après la faune précambrienne d'Ediacara représentée exclusivement par des organismes à corps mou –coelentérés, annélides et groupes inconnus-, la faune cambrienne de Burgess apparaît comme une explosion de vie. Car nombreux sont les êtres vivants qui ont acquis une enveloppe externe protectrice qui favorisera leur fossilisation, spicule des spongiaires, squelette externe des cnidaires coloniaux, test des Echinodermes, carapace des crustacés et coquille des Mollusques. De fait les plans d'organisations principaux sont quasiment tous apparus simultanément, l'amplitude d'apparition est réduite et les hiatus apparents doivent de plus être relativisés par la rareté de la fossilisation. Ce qui pose problème aux naturalistes actuellement. D'après les plus anciens fossiles connus, les différents groupes qui nous intéressent seraient apparus respectivement à - 540 Ma - les Malacostracés-, à -530 Ma - les Vertébrés et les Bivalves-, à -510 Ma - les Gastéropodes-, et à -505 Ma - les Céphalopodes nautiloïdes. D'après les archives paléontologiques les gastéropodes marins précèdent les céphalopodes. Enfin considérons un des résultats des gisements cambriens, le foisonnement d'organismes fossiles à minuscules coquilles d'organisation inconnue. L'absence des tissus mous fossilisés nous conduit vers deux hypothèses : soit ces coquilles, premiers types moins élaborés, étaient sécrétées par des animaux apparentés aux animaux actuels, soit ces coquilles étaient développées par des animaux étranges. Le modèle de diversification et de décimation rapide de l'explosion de vie cambrienne (Gould, 2001, p. 51) fait pencher vers la seconde hypothèse « la faune initiale à petites coquilles [...] contient plus d'organismes énigmatiques que précurseurs » (ibid., p. 418).

En conséquence la place occupée par un fossile d'ammonite dans un arbre phylogénétique est un positionnement d'une durée de vie sur Terre et non un positionnement ancestral par rapport aux espèces actuelles. Ce caractère dérivé partagé qu'est une coquille sécrétée par le

manteau - qu'elle soit bivalve, tordue ou spiralée- réunit les Mollusques. Cette innovation est donc très précoce à l'échelle des temps géologiques. Et la forme effective de la coquille traduit une évolution ultérieure différenciée par des plans de symétrie –bilatérale ou dorsoventrale- ou des axes d'enroulement et de torsion qui les séparent du point de vue phylogénétique. D'autres caractères dérivés que les élèves de primaire peuvent connaître séparent le calmar et l'ammonite de l'escargot, le siphon qui assure l'expulsion de l'eau de la cavité palléale permettant sa locomotion –que les élèves mimaient d'ailleurs-, la poche à encre et les pièces squelettiques mandibulaires appelées « bec de perroquet ». Quant aux gastéropodes le caractère dérivé principal est la torsion de la masse viscérale traduite aussi au niveau de la coquille enroulée. Par contre chez le calmar, la coquille est un caractère de réversion puisqu'elle est atrophiée, il n'en reste qu'un vestige interne appelé tigelle ou plume. En revanche l'ammonite a un caractère dérivé propre qu'est la position ventrale du siphon contrairement aux nautilus. Ce fossile ne peut donc pas être l'ancêtre direct commun au calmar et au nautilus actuels cités par les élèves.

En définitive **le pari d'une ascendance directe** entre l'ammonite et l'escargot qu'avaient fait les élèves, est transformé en l'hypothèse d'une ascendance commune de ces deux êtres vivants. L'apparemment intuitif des élèves se justifie mais pour des raisons scientifiques affinées. Le mollusque présumé primitif porterait une coquille dorsale en cône surbaissé (Grassé & Dumenc, 1998, p. 154). Nous parlons d'archétype ou d'ancêtre hypothétique pour le phylum des Mollusques qui constitue un groupe monophylétique (Schaff, 2006, p. 684).

Ainsi nous avons une représentation des arguments que l'enseignante pourrait prendre en compte parmi les échanges discursifs des élèves afin de les faire clairement exprimer, de leur renvoyer leurs contradictions ce qui permettrait de faire avancer la problématisation vers une solution. Le potentiel de raisons est d'emblée important dès l'école primaire et cette richesse demande à être explorée simplement mais avec rigueur scientifique.

9. 4.2 Lien entre problématisation et questionnement d'élèves

La problématisation est dérivée étymologiquement de problème et le terme de problème est associé de par sa première fonction didactique à une interrogation guidant la recherche d'une solution. Il semble donc impensable de problématiser sans questionner la phénoménologie étudiée en parallèle. Or l'art de positionner le problème, une étape incontournable de la problématisation (Fabre, 1993), est lié à l'art de poser aussi les bonnes questions. Dans ce débat en classe nous avons repéré le passage d'un faux problème -la parenté d'un fossile d'ammonite à une tortue ou à une crevette- à un vrai problème -les liens de parentés ou de filiation entre un fossile d'ammonite et un mollusque actuel-. Le questionnement spontané des élèves est rare, il est d'autant plus important à analyser. Le plus souvent le questionnement est

implicite et il peut être décodé par l'emploi du conditionnel et de l'adverbe « peut-être » ponctuant de nombreuses interactions langagières d'élèves (Annexe 30). Le tableau ci-dessous regroupe les questions et les doutes par problème générique, et il les catégorise d'après leur typologie de nature ou de fonction (Maulini, 2005a, p.39) ainsi que d'après leurs caractères implicite ou explicite, spontané ou aidé par l'enseignante.

Tableau N°16 : **Typologies des questions d'élèves explicitées ou de leurs doutes lors de la controverse d'analogie, sur les fossiles d'ammonite et leur parenté avec les animaux actuels**

Questions d'élèves explicitées ou doutes exprimés	Catégorisations du questionnaire ou du doute exprimé	Appartenance du questionnaire à un problème scientifique
-Ca peut être un peu cassé (Mélissa, E28) -Si il est cassé il aurait pu être différent (Camille, E66) -Ca aurait pu p'tre continuer faire un coquillage (Mélissa, E74) -C'est peut-être des morceaux ! (Louis, E398)	Doutes fermés contenant la réponse	Problème de la fossilisation plus ou moins complète
-C'est p'tre la différence des espèces (Louis E183) -Mais peut-être que quand ils (les coquillages) sont grands, ils sont rayés (Mélissa, E193)	Doutes fermés contenant la réponse	Problème des causes des différences morphologiques
Le fossile est-il l'ancêtre de ... (P211) -De la crevette ou c'est une crevette d'aujourd'hui ? (Louis, E-223) -Mais ça serait pas une crevette fossilisée hein ?! (E230) -Mais par contre je sais pas si c'est tortue, calamar ou crevette ou escargot, <i>l'ancêtre</i> ? (Louis, E293) -Peut-être que l'escargot descend de l'ammonite (Jean, E343) -Oui, MAIS Alyson, est-ce que t'as comparé... à une coquille d'escargot ? (Louis, E372) -C'est p'tre pas des escargots ? ! (Louis, E394) -Ca aurait pu être une petite tortue [...] Ca serait peut-être un petit peu trop petit comme ça. (Julie, E413)	Question ouverte de raisonnement Question fermée contenant une réponse Question ouverte de raisonnement Doute fermé contenant la réponse Question ouverte de méthodologie Question fermée contenant une réponse Doute fermé contenant la réponse	problème du fossile, ancêtre d'un animal actuel
-Pourquoi on le (fossile) trouve à un endroit où avant y'avait de l'eau ? (Louis, E337) -Peut-être qu'avant y'avait de l'eau ici (Jean, E343)	Question ouverte de raisonnement Doute fermé contenant la réponse	Problème d'une ancienne mer
-Peut-être que ça s'est métamorphosé en escargot (Jean, E343) -Ils se sont peut-être adaptés... comme les escargots (Mélissa, E357) -Mais il peut y avoir l'évolution, ça a peut-être changé. Parce qu'entre temps, y'a des choses qui évoluent (Florine, E447)	Doutes fermés contenant la réponse	Problème des mécanismes de transformations

L'émergence exceptionnelle du questionnement par les élèves peut être remarquée. Le doute exprimé, sous la forme d'un conditionnel ou de l'adverbe « peut-être », est considéré comme un questionnement implicite. Il est l'apanage de cinq élèves qui interviennent à plusieurs reprises dans ce sens pour la plupart. Quant au questionnement explicite, il relève d'un changement de posture difficile qu'un seul élève dans cette classe, Louis, s'est permis d'effectuer. Cet élève a même pris deux initiatives d'ordre méthodologique à la place de l'enseignante. Il suggère à Morgane de décoller et de déplacer les fossiles afin que toute la classe puisse mieux les comparer (Annexe 30, occurrence 84). Et surtout il intervient pour réorienter la discussion devant la diversité des animaux associés aux ammonites, hypothèses formulées qui ne peuvent être considérées encore comme des solutions « on peut demander aux personnes de se justifier [...] Ben on doit dire pourquoi on a fait ci » (Annexe 30, occurrences 260 et 264). La proposition de connaître les raisons de chacun pour avoir dessiné tel analogue vivant ou tel fossile en position de vie est adoptée par l'enseignante pour gérer la suite de la séance. Nous pouvons dire que tous ces élèves prennent en charge la construction des raisons sous la modalité d'un questionnement pertinent implicite ou explicite. Car en synergie ce sont ces mêmes élèves qui révèlent une capacité à problématiser par les différentes raisons apportées. Le doute permis dans les échanges langagiers offre une ouverture sur une divergence de raisonnement acceptée par l'enseignant et entendue par les pairs. Cette évolution du questionnement dans la classe est sans nul doute un indicateur de la dévolution du problème aux élèves, assurément ceux qui questionnent et éventuellement ceux qui suivent la discussion (Brousseau, 1986). Et le rôle de l'enseignant est primordial dans cette construction car il peut canaliser la convergence des questionnements souvent maladroits des élèves de cet âge vers une explicitation claire du problème. Le nombre d'interventions interrogatives est révélateur de la problématique centrale de la classe que nous reformulerions ainsi « l'escargot et l'ammonite possédant tous deux une coquille enroulée, l'escargot peut-il être considéré comme le descendant d'un fossile d'ammonite ? ».

Conclusion chapitre 9 : lien entre problématisation et travail sur l'obstacle « analogiste »/ d'analogie en référence aux faunes actuelles dans le cadre scolaire

Dans cette classe de CM2 la construction de raisons à propos d'une parenté entre fossile et vivants a fonctionné en synergie avec plusieurs difficultés conceptuelles en lien avec les références actuelles.

Le statut d'ancêtre donné au fossile d'ammonite plaque une généalogie historique et sans doute anthropomorphique puisque les stades jeune et adulte de l'espèce humaine servent parfois de référence. Il met en tension une idée de filiation et une donnée de ressemblance,

l'une appartenant au registre des modèles et l'autre appartenant au registre empirique. Or si le fossile d'ammonite partage des caractères avec un escargot terrestre actuel, il ne représente pas pour autant son ancêtre direct. Ce passage à la nécessité d'un ancêtre commun inconnu et encore plus ancien que les ammonites est délicat. Dans le nouveau cadre phylogénétique, un ancêtre phylogénétique est déduit, il est donc toujours hypothétique et inaccessible. L'ammonite est aussi positionnée à l'extrémité d'une branche d'un cladogramme et non au niveau d'un nœud. Le fossile matériel récolté actuellement ne peut être confondu avec la représentation incertaine d'un ancêtre placé sur une arborescence cladistique et confronté aux archives paléontologiques.

Le statut d'intermédiaire donné à l'ammonite fossile doit aussi être considéré. Quand l'élève intervenait pour placer l'ammonite « entre l'ancêtre du calmar et de l'escargot » (Annexe 30, occurrence 307, Jean), il avait l'intuition d'un organisme mosaïque qui par ses tentacules et sa coquille pouvait réunir les deux vivants connus actuellement. Ces contraintes empiriques de caractères partagés d'un côté et de caractères spécifiques de l'autre permettent là encore de conduire à la nécessité d'un ancêtre commun. Mais il est nécessaire de lever l'ambiguïté de cette association entre ancêtre et intermédiaire, en qualifiant le fossile d'« intermédiaire structural » et non pas d'« intermédiaire-ancêtre » (Lecointre & Le Guyader, 2001, p. 46). Cette conception de « missing-link »¹⁸⁹ ou « chaînon manquant » entre tous les taxons est un faux problème pour certains scientifiques, un débat encore ouvert pour d'autres. Il s'enracine dans l'histoire des sciences, l'absence de « formes intermédiaires » ou de « chaînons de transition » dans les archives fossiles ayant été regrettées et expliquées par la pauvreté des collections paléontologiques (Darwin, 1859/1982, chap X). Cette absence de preuve paléontologique sert encore de prétexte pour débouter la théorie de l'évolution à ceux qui n'ont pas renoncé à rechercher des ancêtres réels et voudraient voir combler tous les hiatus par une documentation fossile (Yahya, 2007). Et dans ce sens elle rejoint en pensée les chimères mythologiques.

Le statut d'identité donné entre l'ammonite fossile et le nautilus actuel est le troisième point à considérer. Une élève extrapole une similitude « c'est pratiquement exactement pareil [...] c'est exactement pareil » (Annexe 30, occurrence 316) et tout le problème effectif porte sur cette identité validée ou non. Or le nautilus n'appartient pas à la sous-classe des Ammonoïdes mais des Nautiloïdes par la position centrale du siphon passant à travers les cloisons de la coquille. C'est une espèce morphologique très proche des fossiles du genre *Cenoceras* dont l'apparition date du Trias -vers 235 millions d'années-. Ce rapprochement fait que les nautilus ont été souvent qualifiés de « **fossile vivant** ». Cette notion paradoxale

¹⁸⁹ Ce terme de « missing-link » aurait été utilisé pour la première fois par T. Huxley dans son livre *Evidence to Man's Place in Nature* (1863/ trad fr. 1868). Il faisait référence aux archives fossiles incomplètes qui n'offraient pas d'ossements d'une créature hypothétique combinant les caractères simiens et hominiens, assurant ainsi un lien entre l'homme et le singe dans la chaîne évolutive

conforte la prégnance de l'actuel sur le passé des êtres vivants. Mais pour les paléontologues les archives incomplètes n'offrent que quelques caractères anatomiques d'une espèce ou d'un groupe. Et pour les biologistes, l'évolution n'est pas synchrone pour tous les organes d'une même espèce, ils parlent d'évolution mosaïque. Donc la stabilité d'une morphologie parcellaire au cours des temps géologiques considérables ne peut être synonyme de stabilité génétique.

En conclusion nous pouvons remarquer que la plupart des **concepts qualifiés de « flous »** par Lecointre et Le Guyader (2001, pp 43-46) sont convoqués d'emblée par les élèves du primaire dans leur argumentation : ressemblance, ancêtre, intermédiaire. Autrement dit, les problèmes explicatifs mobilisés sont le discernement entre des caractères analogues et homologues, la distinction entre une généalogie et une phylogénie, et enfin la distance conceptuelle entre un chaînon manquant et une forme fossile intermédiaire structurale. C'est aussi la difficulté majeure de cerner le concept d'espèce en paléontologie qui est sous-jacente à ces différents problèmes. D'emblée le débat des élèves du primaire mobilise un questionnement qui peut être corrélé aux problématiques savantes actuelles. Mais il s'en éloigne forcément par la construction de raisons établies sur la biologie des êtres vivants actuels et méconnaissant l'archivage fossile dans des strates superposées. **La référence forte à l'actuel** induit la préférence à une pensée généalogique facilitée. Couplée à une expérience première sensible de ressemblance, elle génère des ancêtres empiriques et souvent intermédiaires. La survalorisation des vivants actuels engendre une pensée qui s'en détache difficilement et ne permet pas de « penser autrement ». C'est pourquoi la classification de la biodiversité actuelle voudrait aussi idéalement refléter la phylogénie ancrée dans le temps.

Le dépassement d'une simple ressemblance intuitive par une entrée dans une histoire construite entre deux êtres vivants positionnés sur une échelle de temps relatif est un pas vers la paléontologie stratigraphique et évolutive. Cette mise en histoire des vivants sur Terre, ébauchée par le concept de descendance et d'animaux disparus, va se poursuivre dans l'enseignement secondaire où cette problématique est abordée plus amplement dans les programmes de collège.

CHAPITRE 10 : UNE ÉTUDE DE CAS EN 4^{ème} DE COLLÈGE, LE PROBLÈME DE LA MISE EN HISTOIRE DES VIVANTS SUR TERRE

10. 1 Place didactique de ce débat dans la séquence d'enseignement, présentation de l'étude de cas

10. 1.1 Conception de la séquence globale d'enseignement en lien avec la paléontologie

Cette expérimentation pédagogique menée en classe de quatrième de collège visait à **enseigner autrement l'histoire de la vie sur Terre**. Celle-ci était abordée au programme du cycle central¹⁹⁰ dans un but de synthèse et enseignée souvent en fin d'année scolaire. Institutionnellement elle devait et doit toujours intégrer les notions acquises sur la dualité parenté/unité des êtres vivants, l'évolution des paysages ainsi que la diversité des modalités des fonctions de respiration et de reproduction selon les milieux respectivement aux programmes de sixième, de cinquième puis de quatrième. De ce fait pour cette approche synthétique, repoussée par l'institution dorénavant en troisième de collège¹⁹¹, et repoussée par les enseignants en fin d'année scolaire, par manque de temps ils font le choix fréquent d'un cours magistral qui s'apparente à un récit relatant la succession des différentes ères géologiques. Il répond ainsi à une des directives des programmes «décrire, avec l'idée d'évolution les grandes étapes de l'histoire de la vie... et y situer l'homme» (MEN, 2002, p. 44). Mais la dérive possible est alors de réduire la science paléontologique à une narration dogmatique, illustrée par quelques fossiles stratigraphiques majeurs. N'y aurait-il pas alors, dénaturation du concept de fossile et perte de sens des méthodes scientifiques qui ont produit cette histoire des vivants, source encore de nombreuses énigmes aujourd'hui ? Car cette histoire de la vie sur Terre, vérité d'aujourd'hui, résulte d'une longue exploration factuelle alliée à une imagination contrôlée par les scientifiques. Une alternative pour l'enseignant est de guider les élèves à questionner la construction d'une histoire possible des vivants sur la Terre via une mise en débat "scientifique". Cette approche différente de l'enseignement

¹⁹⁰ Ministère de l'Education Nationale, Desco, 2002 *Enseigner au collège. Sciences de la vie et de la Terre. Programmes et accompagnement*. CNDP, pp. 66-68 et pp. 83-84 « Histoire de la vie-Histoire de la Terre »

¹⁹¹ Cette partie du programme 2002 de 4^{ème} a été déplacée en 3^{ème} dans les nouveaux programmes mis en application à partir de septembre 2008 sous la rubrique «Evolution des organismes vivants et histoire de la Terre » In BO N°6 -19 avril 2007- Hors série -*Mise en œuvre du socle commun de connaissances et de compétences -Programmes de l'enseignement des mathématiques, des sciences de la vie et de la Terre, de physique-chimie du collège*, Vol. 2, p. 100-101. Elle a fait l'objet d'une consultation préalable : MEN, Desco, 2005, *La rénovation des programmes de collège- consultation sur les nouveaux programmes*

répondrait à une autre série de directives qui peuvent paraître paradoxales avec celles précitées. Car ainsi l'élève serait aidé à la « formulation de problèmes, à l'élaboration d'hypothèses et de modèles », à « un va-et-vient entre le concret et l'idée » en développant ses capacités d'expression orale (ibid., p. 45). Les accompagnements des programmes du cycle central 5^e-4^e renforcent cette demande à la rubrique « Histoire de la vie, histoire de la Terre » en insistant sur l'« examen critique », la « discussion des limites de validité », la « non présentation comme un dogme » (MEN, 2002, p83). De même le projet ministériel de rénovation des programmes de collège conforte cette approche par le biais de l'histoire des sciences « *La perspective historique* permet de présenter les connaissances scientifiques comme une construction humaine progressive et non comme un ensemble de vérités révélées » (MEN, 2005, p. 2). Cette situation d'enseignement par le débat en sciences nous semblait plus propice à faire émerger la place des arguments paléontologiques dans les systèmes explicatifs des élèves et de les confronter aux démarches authentiques du géologue en vue de véritables apprentissages scientifiques. Effectivement, dans le cas d'une science historique comme la paléontologie, n'est-il pas encore plus crucial d'enseigner autrement afin qu'il y ait, chez les élèves, un apprentissage non conflictuel entre des processus scientifiques et leurs produits - une mise en histoire des vivants autour d'objets fossiles exceptionnels ?

Le débat s'inscrit dans **une séquence devant corréliser l'histoire de la vie et l'histoire de la Terre**, cette synergie devant permettre aux élèves d'appréhender l'évolution des vivants. La place de la paléontologie est relativement modeste dans les programmes. Dans le registre empirique quelques échantillons de fossiles ou des moulages et des roches fossilifères régionales étaient conseillés. Et dans le registre des modèles, des schémas de reconstitution paléoenvironnementale du cambrien et du crétacé, des phylogénies de vertébrés, des lignées simples –homme ou cheval- étaient recommandés. Le saut conceptuel entre les données paléontologiques et le concept d'évolution est considérable et nous étions intéressés par comprendre quelles relations les élèves de collège se construisent entre les objets fossiles récoltés sur le terrain et l'idée d'évolution des espèces. La situation-débat nous semblait donc une des plus appropriées. Elle a été menée dans une classe de 4^{ème} de collège par une enseignante certifiée¹⁹² en mai 2005. Cette séquence comprend quatre phases inspirées des programmes 2002 de l'enseignement primaire et transférées dans l'enseignement secondaire depuis les nouveaux programmes du collège mis en application à la rentrée 2005 pour la sixième. L'organigramme de la séquence pédagogique (Annexe 32) met en avant un débat (séance N°3) au cœur de la progression pédagogique et celle-ci se décline selon un modèle pédagogique par investigation-structuration similaire à ceux envisagés antérieurement dans le primaire. Par rapport à notre projet de recherche, nous considérerons deux temps, celui préparatoire au débat et le débat lui-même choisi pour les phases révélatrices des difficultés

¹⁹² Agnès Marle a obtenu le CAPES de sciences naturelles en 1984. Elle a été formatrice à l'IUFM de Franche-Comté auprès des PLC2 et a toujours enseigné en collège depuis son début de carrière.

de raisonner afin de construire des passerelles conceptuelles entre fossiles et évolution des vivants. Dans cette étude de cas la séance de débat s'intègre à un **moment privilégié de positionnement des problèmes**. D'une part des questions sont clairement énoncées et peuvent traduire certains obstacles et, d'autre part, la recherche de réponses poursuit la construction de ces problèmes en les approchant sous différents angles. Faute de temps en cette fin d'année scolaire et restreint par les heures institutionnelles pour cette partie du programme (dix heures conseillées), l'investigation par une recherche documentaire a été favorisée et le retour final au cours magistral s'est effectué pour l'institutionnalisation, la structuration de l'ensemble des connaissances paléontologiques présentées ainsi que pour les apports complémentaires des données portant sur l'anatomie comparée, l'embryologie et la génétique des êtres vivants actuels. Examinons comment ces élèves de collège ont évolué entre la vérité actuelle, factuelle et l'imaginaire contrôlé des scientifiques.

10. 1.2 Des séances antérieures comme travail préparatoire préliminaire au débat, un questionnaire et son exploitation métacognitive par les élèves (2 séances)

La séance précédant le débat a fait émerger par écrit **les conceptions initiales individuelles des élèves**. Ces premières réponses collectées furent obtenues par la passation d'un **questionnaire collectif** via un diaporama. Sa conception est une adaptation d'un travail antérieur mené en entretien individuel auprès d'élèves d'école primaire (Crépin-Obert, 2002) qui s'était inspiré d'une recherche anglo-saxonne en psychologie cognitive (Samarapungavan & Wiers, 1997). Celle-ci cherchait à savoir si les enfants de l'école primaire et du collège pouvaient concevoir l'origine des espèces et leurs filiations évolutives, avant tout apprentissage scolaire sur l'origine de la biodiversité et les mécanismes de l'évolution. Notre objectif est différent puisque nous voulions provoquer le questionnement des élèves et leur argumentation à propos du lien entre les études empiriques paléontologiques et le concept d'évolution. Ce questionnaire peut être qualifié de **semi-ouvert** (Weil-Barais, 1997). Les formulations du questionnement ont été arrêtées après un pré-test sur un élève de 6^{ème}, et un entretien individuel avec deux enseignants concernés qui l'ont mis en œuvre dans leur classe de CM2 et de 4^{ème}. Rappelons les exigences des consignes ayant pour but de faire émerger des conceptions initiales d'élèves et donc de solliciter une hétérogénéité d'explications possibles : la question doit être suffisamment précise pour constituer une demande concrète auprès des élèves, mais en même temps elle ne doit pas être trop précise pour ne pas orienter l'élève au point de fermer ses réponses, et enfin cette même question doit permettre des réponses dans le champ de l'explication scientifique et non pas uniquement centrées dans le champ de la description scientifique.

L'ensemble du questionnaire (Annexe 33) retenu pour notre étude comprend cinq problèmes et nous allons nous intéresser plus particulièrement au **second problème « Quelle histoire de la vie peut être construite sur la ligne du temps ? »**. Il a donné lieu à des réponses d'élèves didactiquement intéressantes et il est le plus en adéquation avec les concepts visés dans les programmes. Chaque élève devait reconstituer une histoire de la vie en ordonnant sur une flèche du temps différents êtres vivants et justifier sa logique de placement. Le choix est prédéterminé de dix êtres vivants -algue, crocodile, étoile de mer, Homme préhistorique, mammoth, méduse, papillon, pin, requin, tyrannosaure-. Les différents exemples ont été pris dans le monde végétal et le monde animal, dans les milieux aquatiques marins et terrestres ; ce sont des animaux disparus ou des animaux actuels et s'y ajoute l'homme, à situer parmi ces êtres vivants. La plupart des exemples sont déjà bien connus des élèves ; certains sont très médiatisés en raison de leur taille monstrueuse ou de leur dangerosité pour l'homme qui appelle aux pensées fantastiques. La représentation sagittale sans échelle de temps est imposée. Ces deux caractéristiques précisent le degré de fermeture de la question. A contrario cette question permettait, d'une part, plusieurs logiques d'organisation le long de la flèche du temps par chaque élève et, d'autre part, elle ouvrait sur différents problèmes comme la succession des espèces au cours des temps géologiques, leur filiation via des animaux apparentés - quatre vertébrés-, leur changement possible par extinction -dinosaur et mammoth- et la différenciation via l'hominisation -homme de Néanderthal. De plus la consigne rappelée « Pour chaque espèce, tu placeras une croix sur la ligne du temps avec les deux lettres correspondantes à l'espèce placée, pour ordonner ces espèces dans l'histoire de la vie en fonction du temps. » se voulait suffisamment imprécise et ne proposait ni le terme d'apparition ni celui de disparition, ni de période de vie sur Terre. La numérotation de 1 à 10 et les lettres alphabétiques de A à J ont été évitées afin de ne pas induire un ordre donné. La présentation par ordre alphabétique des noms vernaculaires semblait être le critère le plus neutre par rapport au placement sur la ligne du temps. En conséquence la situation impliquait un choix conscient par les élèves. Ils devaient se définir par eux-mêmes une logique de placement des êtres vivants sur la flèche du temps à positionner sur une feuille de grand format. L'anonymat annoncé et la distance clarifiée à une évaluation sommative mettaient ces élèves en confiance pour s'exprimer librement, lever la peur de se tromper et donc l'autocensure. Ces caractéristiques précisent le degré d'ouverture de la question. Au final l'élève a donc comme liberté de réponse, dans cette question semi-ouverte, la **chronologie relative d'une diversité d'êtres vivants sur Terre** selon l'ordre choisi de leur placement et l'espacement de ceux-ci sur une ligne de temps.

Cependant nous alertons sur **une limite du protocole didactique, le terme d'espèce employé** dans la première consigne « Tu placeras sur cette ligne, les dix espèces différentes présentées en image et par ordre alphabétique ». Les iconographies représentaient chacune une espèce précise déclinée dans le tableau ci-dessous par leur nom scientifique latin de la

nomenclature linnéenne de genre et d'espèce. Soit l'espèce vit actuellement et elle était représentée alors dans son milieu de vie, soit l'espèce a disparu et c'était une reconstitution. Or les noms vernaculaires— deuxième colonne du tableau— sont très généraux et sous l'appellation populaire commune sont regroupés souvent de nombreux genres et espèces différents. La question posée permettait ainsi de se détacher de l'espèce précise. Donc ces iconographies symbolisaient certains grands groupes dont le repère induit par le nom vernaculaire correspond à différents niveaux hiérarchiques de la classification – embranchement, ordre, classe, famille, genre, espèce- rappelée dans la troisième colonne.

Tableau N°17 : **Diversité des vivants actuels et des fossiles du diaporama à propos du problème N°2 du questionnaire faisant émerger les conceptions initiales des élèves de 4^{ème}**

Nom scientifique binomial associé à l'iconographie (Nom vernaculaire)	Nom donné aux élèves	Niveau de la classification : représentant du grand groupe des... ou du sous groupe des ...
<i>Ascophyllum nodosum</i> (Le jolis)	AL : algue	Thallophytes (Embranchement)
<i>Crocodylus niloticus</i> (Crocodile du Nil)	CR : crocodile	Vertébrés (Embranchement) Crocodiliens (Ordre)
<i>Asterias rubens</i>	ET : étoile de mer	Echinodermes (Embranchement) Astérides (Classe)
<i>Homo sapiens néanderthalensis</i> (Homme de Néanderthal)	HO : homme préhistorique	Vertébrés (Embranchement) <i>Homo sapiens</i> (Genre espèce)
<i>Mammuthus primigenius</i> (Mammouth laineux)	MA : mammouth	Vertébrés (Embranchement) Eléphantidés (famille)
<i>Aurelia aurita</i> (?)	ME : méduse	Cnidaires (Embranchement) Scyphozoaire (Classe)
<i>Aporia crataegi</i> (Gazé)	PA: papillon	Arthropodes (Embranchement) Lépidoptères (Ordre)
<i>Pinus nigra</i> (Pin noir)	PI : pin	Spermaphytes (Embranchement) Conifères (Classe)
<i>Lamna nasus</i> (?) (Requin-taupe commun)	RE : requin	Vertébrés (Embranchement) Chondrichthyens (classe)
<i>Tyrannosaurus</i>	TY : tyrannosaure	Vertébrés (Embranchement) Tyrannosauridés (Famille)

Les points d'interrogation signalent le doute non levé de détermination spécifique parfois délicate selon l'iconographie utilisée. Quoi qu'il en soit la diversité des êtres vivants choisie initialement et l'hétérogénéité des modèles explicatifs attendus devaient favoriser ultérieurement une discussion argumentée.

10. 2 Le corpus de données, support du débat en classe : les conceptions initiales des élèves questionnées sur l'apparition d'une diversité d'êtres vivants au cours des temps géologiques ainsi que leurs parentés

10. 2.1 Résultats diagnostic d'une classe de quatrième

Les résultats obtenus au diagnostic effectué par le problème retenu en première séance sont catégorisés en associant les vingt-et-une réponses d'élèves aux questionnements de placement des dix êtres vivants « Pour chaque espèce, tu placeras une croix sur la ligne du temps avec les deux premières lettres correspondantes, pour ordonner ces espèces dans l'histoire de la vie en fonction du temps » (Annexe 33, problème 2, question a) et de justification de la séquence proposée « Justifie par une seule phrase pourquoi tu les as placées ainsi » (Annexe 33, problème 2, question b). Les deux derniers questionnements « Comment les fossiles ont-ils pu aider les scientifiques à construire cette histoire de la vie sur Terre ? » et « Pour toi y a-t-il d'autres indices que les fossiles pour construire l'histoire de la vie sur Terre ? » (Annexe 33, problème 2, questions c et d) nous donnent des indications sur les autres argumentaires que pourront développer les élèves lors de la situation-débat provoquée en classe mais ne font pas partie de cette analyse principale. Par rapport au positionnement global de l'ensemble des êtres vivants, deux logiques explicatives s'opposent, un échelonnement sur toute la ligne du temps (13 élèves) ou un regroupement dans la première moitié de la ligne du temps (8 élèves). Concernant la séquence justifiée, plusieurs critères s'entrecroisent pour constituer des systèmes explicatifs divers, ils sont catégorisés dans le tableau ci-dessous.

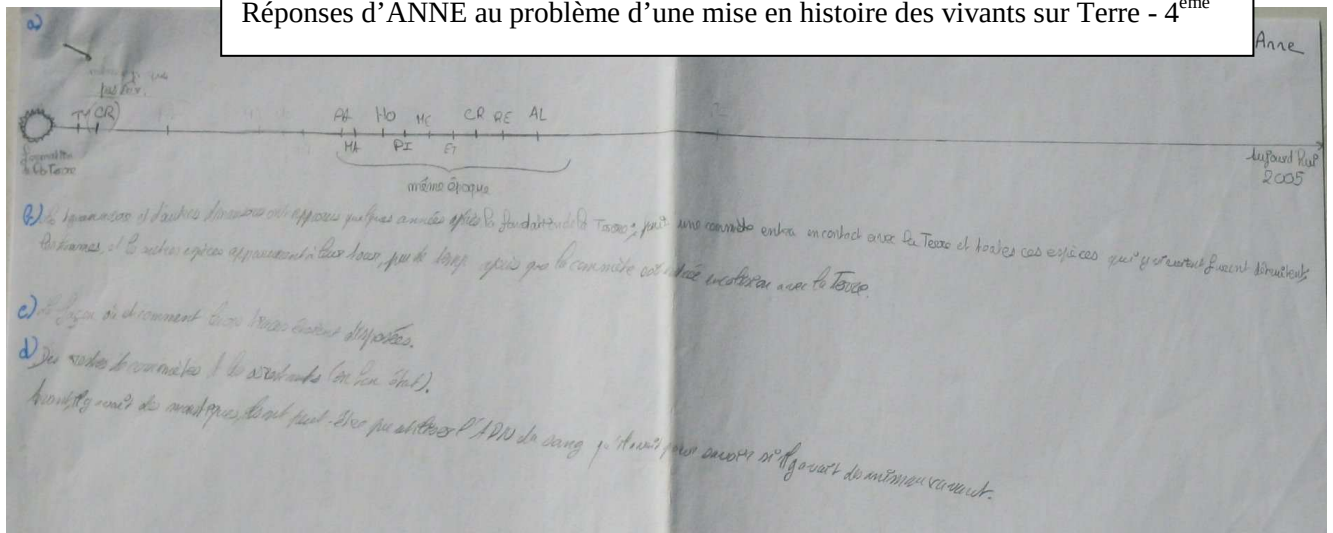
Tableau N°18 : **Diversité des argumentations de placement des dix êtres vivants sur la ligne du temps par les élèves de 4^{ème}**

critères repérés	Nombre d'élèves concernés / 21
Référence à l'homme :	11
- La dangerosité pour l'homme (crocodile, dinosaure)	2
- La découverte par l'homme	2
- La nourriture de l'homme (mammouth, requin)	2
Homme positionné :	21
- en début	2
- au milieu	14
- en fin	5
	(dont 4 en dernier)
Le milieu de vie :	14
- aquatique puis terrestre	9
- terrestre puis aquatique	5
Les règnes et leur succession :	10
- végétal puis animal	8
- animal puis végétal	2
La nutrition au sens large	4
- végétal et animal (respiration et photosynthèse)	1
- niveaux trophiques (papillon est mangé par le crocodile)	1
- homme	2
Les êtres vivants disparus/ actuels	5
Dinosaure positionné :	21
- en début	14
	(dont 4 en premier)
- au milieu	6
- en fin	1
Une filiation	2
- entre dinosaure et crocodile ; entre bactérie et algue	1 (précisée)
La morphologie (sans précision)	1

Certaines logiques explicatives sont seulement ébauchées ce qui explique la différence entre le total des élèves ayant convoqué un item et le nombre des sous items correspondant à une argumentation plus étayée. Pour illustrer prenons deux conceptions très différentes, opposées sur l'ensemble des critères, telles celles de Anne et de Lucie.

Iconographie N° 11 : Conception de l'apparition de dix êtres vivants, positionnés sur une flèche du temps, par deux élèves de 4^{ème}, Anne et Lucie

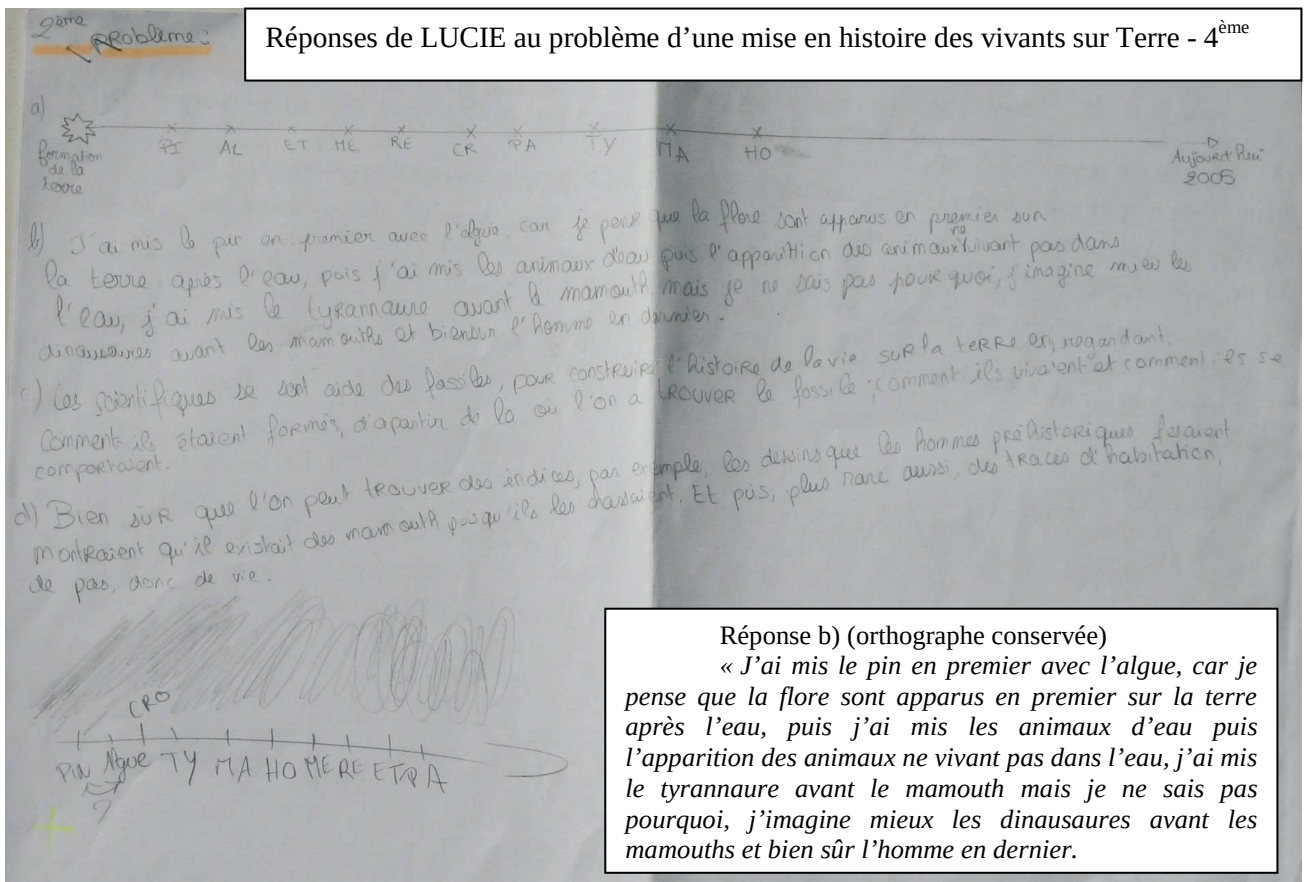
Réponses d'ANNE au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème}



Réponse b) (orthographe conservée)

« Les tyrannosaures et d'autres dinosaures ont apparus quelques années après la formation de la Terre ; puis une comète entra en contact avec la Terre et toutes ces espèces qui y vivaient furent détruites ; les hommes, et les autres espèces apparurent à leur tour, peu de temps après que la comète soit entrée en collision avec la Terre. »

Réponses de LUCIE au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème}



Réponse b) (orthographe conservée)

« J'ai mis le pin en premier avec l'algue, car je pense que la flore sont apparus en premier sur la terre après l'eau, puis j'ai mis les animaux d'eau puis l'apparition des animaux ne vivant pas dans l'eau, j'ai mis le tyrannosaure avant le mamouth mais je ne sais pas pourquoi, j'imagine mieux les dinosaures avant les mamouths et bien sûr l'homme en dernier. »

Anne propose deux groupements d'apparitions des êtres vivants, l'un d'emblée dès la formation de la Terre avec le tyrannosaure et peut-être le crocodile et l'autre après un impact extraterrestre avec l'homme entouré de tous les autres êtres vivants puisqu'elle précise qu'ils appartiennent à la « même époque ». De plus son unité d'échelle de temps de raisonnement pour positionner les différents événements est historique « quelques années ». En référence aux cadres épistémiques historiques, on peut qualifier sa conception globale de **tendance fixiste - spontanéiste associé à un catastrophisme**. Lucie propose d'échelonner d'abord les êtres vivants végétaux puis animaux, ensuite d'échelonner les êtres vivants aquatiques puis terrestres et elle présente comme une évidence que l'homme soit apparu en dernier dans le temps. Une contradiction interne à ses deux logiques peut être constatée puisqu'elle place le pin, végétal terrestre, en premier. Toujours en référence aux cadres épistémiques en histoire des sciences, sa conception globale pourrait être qualifiée de **tendance transformiste et finaliste**, qui demanderait à être confirmée par ses autres réponses ou un entretien particulier. L'analyse globale est effectuée chez tous les élèves et signalons encore d'autres tendances explicitées par Hélène, Mina et Flavien. Chez Hélène c'est, par exemple, une tendance créationniste qui est énoncée « La création des êtres vivants a commencé par le monde aquatique puis le monde terrestre qui évoluera aussi » (Annexe 34, Problème 2, Réponse b). Chez Mina c'est une **tendance anthropocentriste** très marquée « RE : le requin, je pense existait avant l'homme, car l'homme chassait le requin ; HO : c'est de l'apprentissage et je sais qu'il est apparu après les dinosaures, mammoth et les requins. ET : comme pour l'algue, je pense qu'elle est très vieille mais pas autant que l'homme ; CR : le crocodile, je pense existe depuis très longtemps car c'était l'un des ennemis de l'homme ; ME : Je pense que la méduse n'est pas aussi vieille que l'homme » (Annexe 34, Problème 2, Réponse b). La réponse de Flavien traduit encore un autre type de raisonnement « Je sais que certaines espèces sont apparues avant d'autres et que d'autres sont encore en vie, donc apparues après celles disparues » (Annexe 34, Problème 2, Réponse b). Pour lui tous les êtres vivants qui existent encore aujourd'hui sont les plus récents d'où par exemple l'algue positionnée en fin de temps ; et tous les êtres vivants qui ont disparu, seraient plus anciens d'où le mammoth et le tyrannosaure en début du temps. Comme si il y avait une période de vie égale sur Terre. Là encore des contradictions internes sont repérables : le requin et l'homme dans les premiers êtres vivants apparus mais non disparus aujourd'hui. Sa logique principale est de raisonner par rapport aux faunes actuelles d'où la résurgence d'une **tendance d'analogie et de présentisme** déclinant aussi un obstacle. L'ensemble des tendances repérées, fréquentes et récurrentes chez les élèves, est révélateur d'obstacles épistémologiques majeurs identifiés classiquement en histoire des sciences. Nous pouvons compléter par une analyse de posture des élèves par rapport à leurs propositions de mises en histoire des vivants sur Terre, pouvant révéler un rapport aux savoirs scientifiques constitués qui assoie ou relativise leur proposition.

Nous avons répertorié la diversité des positionnements des élèves de cette classe de 4^{ème} en fonction des verbes utilisés pour introduire leurs écrits.

Tableau N°19 : **Postures des élèves de 4^{ème} à propos du récit initial des histoires des vivants sur Terre (problème N°2 du questionnaire)**

Mise en histoire sans se positionner		10 élèves / 21
Positionnement par une ou plusieurs propositions		11 élèves / 21
Qualité et Nombre des propositions utilisées chez les 11 élèves se positionnant par rapport au savoir	« <i>je pense</i> »	9
	« <i>je sais</i> »	7
	« <i>j'ai placé selon une logique</i> »	3
	« <i>J'ai appris</i> »	2
	« <i>bien sûr</i> »	1
	« <i>j'étais à peu près sûr</i> »	1
	« <i>On connaît plus ou moins</i> »	1
	« <i>j'ai essayé</i> »	1
	« <i>il me semble</i> »	1
	« <i>j'imagine</i> »	1

Il est intéressant de noter que 50% des élèves sont dans une perspective narrative simple. Le séquençage est plus ou moins important et marqué par des conjonctions de coordination induisant une causalité ou une temporalité -et puis, ensuite- et des adverbies marqueurs de temps soit d'antécédence -au début, en premier, avant, d'abord-, soit de simultanéité -à l'époque de-, soit de succession -après, quelques années après, peu de temps après, puis, enfin, en dernier, puis ensuite-, soit d'actuel -aujourd'hui- et soit d'infini -toujours-. Ces marqueurs de temps sont essentiellement qualitatifs et le seul apport quantitatif reste à l'échelle historique. Les élèves récitent une histoire sans se questionner par rapport à la séquence historique qu'ils écrivent. Quant à l'autre moitié de la classe, elle positionne la narration de l'histoire des vivants sur Terre comme une certitude d'autorité ou non (lignes blanches du tableau), ou alors comme empreinte de doute (lignes grises du tableau). Nous retrouvons des indicateurs d'une mise en histoire simpliste dénoncée dans une recherche antérieure sur les conceptions d'élèves de lycée sur l'origine de la vie et la succession des premiers êtres vivants (Orange-Ravachol, 2003).

10. 2.2 Emergence d'un questionnement concerté d'élèves

Ainsi l'analyse des conceptions effectuée en collaboration avec l'enseignante sous l'angle des obstacles épistémologiques et les tendances convergentes des élèves a permis de constituer des regroupements hétérogènes -du point de vue des logiques explicatives- afin d'organiser le débat. Deux groupes d'élèves devaient revenir sur leurs premières productions individuelles concernant le problème N°2 du questionnaire (Annexe 33) – mise en histoire des vivants sur une flèche du temps- et trois groupes d'élèves devaient réfléchir de la même façon au problème N°4 –représentations des ancêtres et liens de parentés-. De plus le regroupement d'élèves ayant des points de vue différents devait favoriser un questionnement fructueux et autonome. Les consignes suivantes découlèrent de cette analyse. Au sein de chaque groupe les élèves devaient comparer leurs raisonnements, repérer les différents arguments - divergences ou similitudes- puis les élèves ayant des logiques explicatives différentes, devaient défendre et préciser leurs raisons. Ensuite chaque groupe proposait à la classe la question qui lui importait le plus de résoudre parmi celles posées par écrit. Elle serait écrite au tableau afin de le soumettre à toute la classe pour que chacun puisse réagir et donner son avis, ses arguments. Voici l'ensemble des questions obtenues produites par les cinq groupes d'élèves et la sélection effectuée d'une question retenues pour être débattue en classe.

Tableau N°20 : **Productions écrites des questions de chaque groupe de travail** (Séance N°2)

Problèmes du questionnaire initial	N° Groupes Lettres d'anonymat Prénoms élèves ayant participé au débat	Questions rédigées par les groupes d'élèves dans l'ordre chronologique de production -En caractère normal = questions d'élèves en relation avec le problème N°2 - <i>En caractère italique</i> = questions d'élèves en relation avec le problème N°4 - En caractère gras = questions retenues par les groupes
<u>Problème N°2</u> Mise en histoire des vivants sur une flèche du temps	Groupe 1 R-N-F-B Sylvain Mina Kevin Eva	- Est-ce que le papillon est apparu en dernier sur la frise du temps à cause de sa complexité ? - Est-ce qu'il est apparu dans les premiers êtres vivants sur Terre parce qu'il servait de nourriture ? -Est-ce que le pin est apparu avant les dinosaures pour servir de nourriture et faire de l'oxygène ?
	Groupe 2 T-A-O-U Flavien Anne Lucie Maxime Br.	- Est-ce que la végétation est apparue en même temps ou séparément sur la terre et dans l'eau (la mer) ? - <i>Est-ce que le crocodile est le descendant du tyrannosaure ? Justifier</i> -Est-ce que les animaux sont apparus avant ou après l'Homme ? -Est-ce que les animaux aquatiques sont apparus avant ou après les animaux terrestres ?
<u>Problème N°4</u> Représentations des ancêtres et des liens de parentés entre vivants	Groupe 3 D-I-G-L Aline P. Maxime Ba. Claude Laurine	- L'homme préhistorique est-il intermédiaire entre l'homme et le singe ? -Comment s'appelait le requin du temps des dinosaures ? -La hyène est-elle le descendant du chien ? -Tout a-t-il réellement commencé sous l'eau ? -L'évolution : c'est le développement physique ou mental d'une espèce en fonction d'un besoin (son milieu de vie, sa manière de manger ...). Est-ce vrai ?
	Groupe 4 K-P-J-E-M Sonia Aurélie Thomas Lise Elise	-Est-il possible que des animaux descendent des végétaux ? (aurélie) -Est-ce que les végétaux suivent une évolution comme les animaux ? - Il y a eu forcément un premier ; comment est-il apparu ? (Sonia) -Comment a-t-on fait pour savoir l'origine de la Terre et de la vie ? -Peut-on savoir au bout de combien de temps une espèce a-t-elle évolué ? - Est-ce que toutes les espèces peuvent être reliées entre elles ? - <i>Est-il possible d'établir un arbre « généalogique » pour chaque espèce ?</i>
	Groupe 5 C-S-H-Q Aline M. Clément Sophie Hélène	-Comment s'est formée la vie ? - Quel est le point de départ ? -Quelle présentation on a employé ? -Que représente la flèche ? - <i>Est-ce que les cousins sont les ancêtres ?</i> -Où a-t-on placé l'homme ? Et pourquoi ? -Pourquoi y a-t-il une évolution ? -Comment déterminer ses ancêtres ? -Est-ce que l'on referait le même schéma ?

La problématique de l'histoire des vivants s'entrecroise avec celles des relations entre les vivants, de l'origine de la vie et de la définition de l'évolution. Nous devrions retrouver ces axes dans le débat mené. Les échanges langagiers entre élèves, ayant donné lieu à ce questionnement produit en groupe restreint dans un premier temps, laissent le temps d'une argumentation concertée. La participation au débat collectif pouvait en être facilitée dans un second temps.

10. 3 Les raisons en jeu dans le débat scolaire, analyse du débat dans le cadre de la problématisation

Maintenant que nous avons répertorié sous différents angles, l'ensemble du potentiel des idées des élèves préalables au débat, voyons la mise en œuvre de ce débat. L'objectif n'est pas qu'ils dépassent leurs premières conceptions mais qu'ils passent de leurs idées parfois très divergentes, parfois contradictoires à des raisons construites. La passation des idées individuelles aux raisons collectives plus que l'opposition entre ces deux notions est au cœur du processus recherché pendant le débat (Orange, 1999).

10. 3.1 Schématisation de l'espace-problèmes, du questionnement aux raisons paléontologiques et biologiques

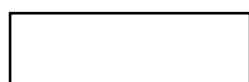
Le corpus principal de notre étude de cas est constitué d'une partie de la transcription du débat enregistré dans cette classe de collège (Annexe 35). L'étude didactique dans un premier temps va mettre à jour la dimension épistémique du débat qui s'est organisé en cinq épisodes correspondant aux cinq questions sélectionnées par les groupes d'élèves. Le premier épisode de ce débat scolaire (Annexe 35, occurrences 1 à 212) amorce une discussion à propos de l'ordre de succession des espèces animales sur la Terre. Le second épisode très proche engage une discussion à propos de l'apparition des espèces végétales sur Terre (Annexe 35, occurrences 213 à 386). Quant aux trois épisodes suivants ils ne pourront pas être retenus pour notre analyse pour les raisons suivantes. D'une part le troisième épisode (Annexe 35, occurrences 387 à 467) aborde une problématique différente qui ne fait pas partie de notre sujet d'étude annoncé, les liens de parenté entre l'homme et le singe. D'autre part lors des deux derniers épisodes (Annexe 35, occurrences 468 à 529) la posture de l'enseignante a changé, liée à la contrainte horaire de la séance. Afin d'accélérer le passage des questions choisies par chaque groupe d'élèves, elle rebondit systématiquement sur les interactions langagières de chaque élève et repasse à un mode de classe dialoguée qui inhibe le développement des controverses potentielles des élèves à propos soit des liens de parenté

entre les espèces aquatiques et actuelles soit à propos de la première forme de vie apparue. C'est pourquoi nous nous centrerons sur les deux premiers épisodes. Les vingt premières minutes retenues pour cette première analyse comprennent les interactions discursives engagées à partir de question explicitée par deux groupes d'élèves ayant réfléchi à la construction de l'histoire des dix êtres vivants sur la ligne du temps (Tableau n°20 ci-dessus). Le premier groupe -Eva, Kevin, Mina, Sylvain- a choisi d'offrir au groupe classe le problème suivant : « Est-ce que le papillon est apparu en dernier sur la frise du temps à cause de sa complexité ou est-il apparu dans les premiers êtres vivants sur Terre parce qu'il servait de nourriture ? ». Le second groupe -Flavien, Anne, Lucie et Maxime- s'est intéressé à retenir un problème approchant « Est-ce que la végétation est apparue en même temps ou séparément sur la terre et dans l'eau (la mer) ? ».

Représentation de l'espace-problème du débat à propos de l'ordre de succession des êtres vivants sur Terre

La problématique globale d'ordre d'apparition des êtres vivants est déclinée en cinq problèmes : l'ordre de succession des êtres vivants animaux et végétaux sur Terre, l'origine aquatique des premiers vivants, la transformation des espèces, les causes multiples et hypothétiques de départ de la mer et de la formation des continents. La structuration du schéma ci-après est expliquée par la légende suivante qui différencie et regroupe les réponses partielles de type question/réponse appartenant au même problème fondamental qui constitue un sous-espace de représentation.

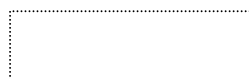
Légende du schéma N°27



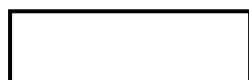
Problème de chronologie relative des fossiles



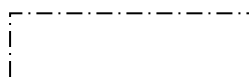
Problème d'une origine aquatique



Problème de filiation ou parenté ou évolution



Problème de retrait marin



Problème de formation des continents

Q = **question**

R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**

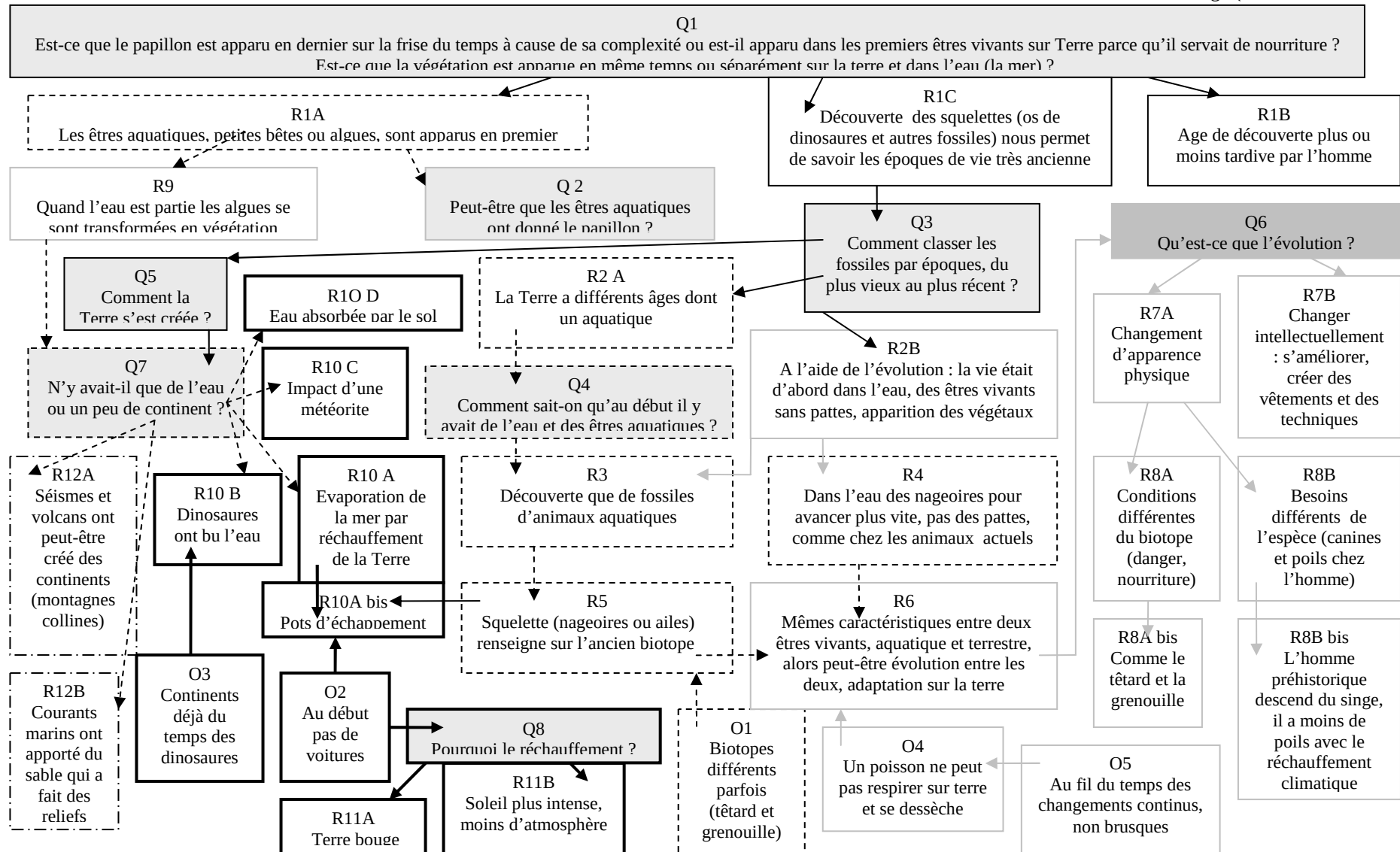
-bis = complément de réponse, de question ou d'objection

Interventions enseignantes

Interventions élèves

- QR = Inférence apocritique, réponse induite par la question
- RQ = Inférence problématologique, la réponse induit une nouvelle question
- ←———— RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection : la réponse, la question ou l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

Schéma N°27 : **MACROSTRUCTURE DU DÉBAT** sur l'ordre de succession des êtres vivants, animaux ou végétaux, au cours des temps - 4^{ème} de collège (occurrences 1 à 386)



Le premier embranchement du débat - flèches biaisées- représente les différentes ouvertures de réponses concernant l'ordre d'apparition des êtres vivants animaux et végétaux sur Terre. Trois logiques s'affrontent : la vie aquatique antérieure à la vie terrestre (R1A), la date de découverte d'un fossile (R1B) qui reste une impasse dans le raisonnement des élèves, ou encore les fossiles comme indicateurs d'une époque terrestre (R1C).

La première piste de réflexion engage la même solution dans le monde animal comme dans le monde végétal, **la transformation des espèces aquatiques anciennes en espèces actuelles terrestres**. Cependant la nature de l'inférence est différente. Dans le premier épisode du débat, l'évolution du papillon à partir d'espèces aquatiques est posée par une inférence problématologique (R1A-Q2). Ces espèces sont forcément petites ce qui rejoint la première idée de complexification au cours du temps (Q1) par un mode de pensée par couple qui associe petit/ simple par opposition à grand/ complexe. Dans le second épisode du débat, la transformation des algues en végétaux terrestres est posée en inférence apocritique (R1A-R9). Elle s'accompagne d'une assertion sur le départ de la mer, cause de l'évolution du vivant conçue uniquement comme une réponse à une modification du biotope, conception que nous retrouvons en R8A. Or cette idée de retrait des mers induit une inférence problématologique (R9-Q7) soulevant les possibilités aux premiers âges de la Terre d'une panthalassa ou au plus d'une petite portion de continent. C'est un véritable problème pour beaucoup d'élèves qui convoquent de multiples hypothèses que nous avons organisées en deux logiques causales, la formation d'un continent ou la disparition des mers. Pour la genèse des continents, équivalents aux reliefs montagneux et collinéens, deux phénomènes concurrents sont mobilisés : soit les séismes et le volcanisme en plein cœur de la mer (R12A, Annexe 36 occurrence 384) soit la mer est l'agent de déplacement de matière minérale et fluide, le sable (R12B). Quant au retrait des mers quatre raisons concurrentes sont évoquées : deux sont de l'ordre d'une explication physique -l'évaporation liée au réchauffement planétaire (R10A) ou la percolation dans le sol (R10D)-, une est de type catastrophique extraterrestre -l'impact d'une météorite (R10C)-, et enfin une autre, non crédible d'emblée pour les élèves, est en corrélation avec les vivants (R10B). Nous constatons que l'actuel est très prégnant pour les élèves car le réchauffement climatique est celui médiatisé aujourd'hui préoccupant la communauté scientifique du XXI^e siècle, ce qui a généré une inférence d'objection (R10A-O2). Ou alors l'imaginaire des élèves est libéré de toute contrainte scientifique, aboutissant à une plaisanterie sur les inévitables dinosaures dans toute histoire de la planète Terre qui donne lieu tout de même à une inférence d'objection scientifique (R10B-O3). Dans tous les cas la difficulté de mettre en histoire et de valider une histoire scientifique ordonnant les différents événements biologiques et tectoniques est considérable.

Ainsi **la seconde piste de réflexion** donne une place aux fossiles dans cette reconstitution historique. Elle rebondit par une inférence problématologique (R1C- Q3), le rôle de datation des fossiles est admis mais les élèves bloquent sur la méthodologie de datation relative. Il est

intéressant de repérer le conflit entre le pattern et le process pour la datation relative de l'apparition des êtres vivants sur Terre, conflit qui donne lieu à un nouvel embranchement important schématisé par deux enchaînements parallèles : d'un côté un raisonnement à partir de données empiriques sur des fossiles de vivants aquatiques –enchaînement R2A-Q4-R3- et d'un autre côté un raisonnement à partir d'idées théoriques sur le mécanisme d'évolution - enchaînement R2B- R4-R6-. Nous constatons qu'il y a aussi enchevêtrement entre le problème d'origine aquatique et celui de filiation entre les espèces aquatiques et les espèces terrestres par des inférences de passage qui marque la recherche d'une cohérence du raisonnement entre ces deux logiques (R2B-R3 ; R2B-R4 ; R4-R6 ; R5-R6). Il est intéressant de remarquer que le développement juvénile sert à la fois d'argument d'objection (O1) et d'assertion (R8A). Selon le premier raisonnement, les déductions du milieu de vie grâce aux restes fossiles doivent être relativisées sachant qu'il existe des organismes amphibiens de morphologie très différente aux stades juvénile et adulte. Selon le second raisonnement, ce même argument conforte la possibilité de passage d'une vie première aquatique à une vie secondairement terrestre. Enfin d'autres réfutations interviennent pour contredire une pensée magique et intemporelle concernant la conquête du milieu terrestre par des poissons. Une cascade d'objections intervient : la sortie des eaux par les poissons actuels est impossible car ils sont inadaptés par le mode de respiration branchiale (O4) ; par contre leur conquête terrestre est rendue possible par un temps long permettant des changements graduels (O5). Enfin une **troisième piste de réflexion** est provoquée par l'enseignante qui réoriente la discussion par une nouvelle question (Q6) faisant émerger les conceptions sur l'évolution. L'adaptation pour la survie de l'espèce est expliquée par deux logiques inverses : soit le milieu de vie est la cause des modifications du vivant (R8A), soit le vivant a de nouveaux besoins et des modifications morphologiques ou anatomiques s'ensuivent (R8B). Un temps de discussion assez long à propos de l'espèce humaine en découle que nous ne retenons pas pour la suite de l'analyse.

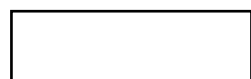
Représentation de l'espace-problème de la controverse à propos de l'ordre de succession des animaux aquatiques et terrestres sur Terre

Dans un second temps nous entrons dans une analyse plus fine de cette quatrième étude comparative en focalisant sur **la controverse principale sur l'ordre de succession des espèces animales sur Terre, problème que ces élèves de 4^{ème} se sont approprié**. Elle correspond plus spécifiquement au premier extrait de débat de la classe de 4^{ème} (Annexe 35, occurrences 1 à 161, 213 à 236 et 339 à 378). L'ensemble des contraintes et des possibles perçus par les élèves sera envisagé selon la méthodologie de macrostructure globale qui donne lieu à la représentation suivante (Schéma N°28). Par sa légende, elle est mise en regard des formulations des élèves retenues plus spécifiquement sur ce problème d'apparitions

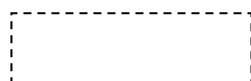
successives des animaux archivées par des fossiles (Annexe 36). Cette macrostructure visualise donc seulement une partie de la problématique d'ensemble (Schéma N°27) vue auparavant. **La problématique initiale alors n'est plus déclinée qu'en trois problèmes** : la chronologie relative des animaux via les fossiles, les premières formes de vie aquatique et la filiation entre les espèces aquatiques et terrestres.

P

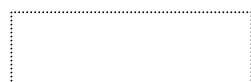
Légende du schéma N°28



Problème de chronologie relative des fossiles



Problème d'une origine aquatique



Problème de filiation /parenté /adaptation

Q = **question**

R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**

-bis = complément de réponse, de question ou d'objection

————→ QR = Inférence apocritique, réponse induite par la question

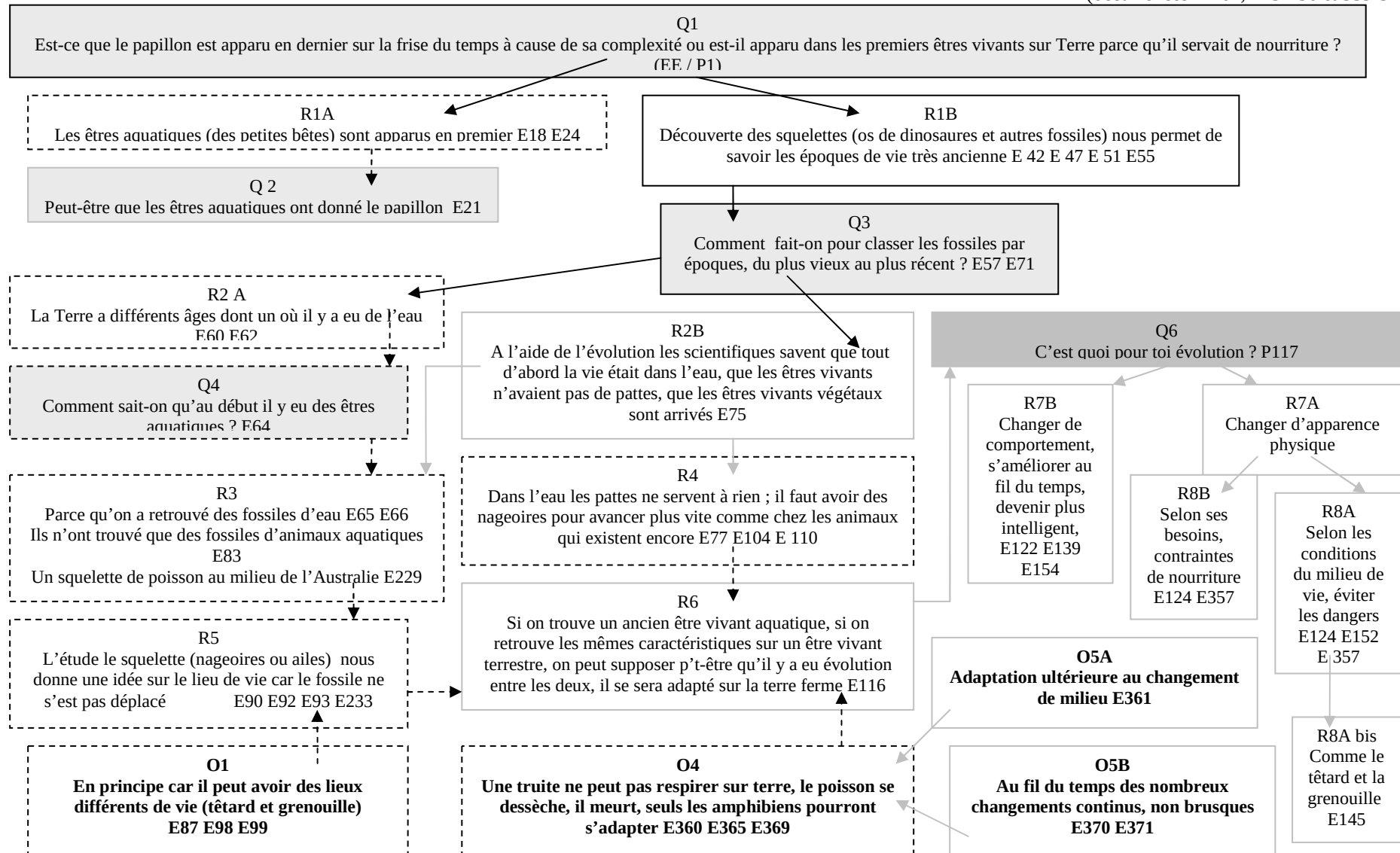
————→ RQ = Inférence problématologique, la réponse induit une nouvelle question

←———— RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection : la réponse, la question ou l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 35)

(P) : occurrence professeur

Schéma N°28 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE sur l'ordre de succession des animaux, aquatiques et terrestres**-classe de 4^{ème}
(occurrences 1-161, 213-236 et 339-378)



La controverse principale nous apparaît fondée sur **une première opposition entre la théorie de l'évolution et les archives paléontologiques** qui est représentée par les deux principales dichotomies. D'un côté c'est l'évolution qui permet de penser une histoire des vivants sur Terre (R1A, R2A, R2B) et d'interpréter les restes fossiles. D'un autre côté ce sont les squelettes fossiles qui sont des indicateurs de cette même histoire révélant des êtres vivants différents de ceux actuels, tels les dinosaures ou les poissons fossiles australiens (R1B, R3). De plus ces deux logiques s'entremêlent fortement dans la recherche d'une solution par les élèves, le problème d'un mécanisme d'évolution tel l'adaptation au milieu de vie (R6) est alterné avec le problème du milieu de vie différent de l'actuel et déduit à l'aide des fossiles (R5). Cela relève d'une difficulté à distinguer clairement les faits tels les fossiles des mécanismes de l'évolution.

75	E (Maxime) : Ben justement à l'aide de l'évolution, on sait que tout d'abord ça que la vie elle était dans l'eau, on sait que les êtres vivants ils avaient pas de pattes, on sait aussi que les êtres vivants végétaux sont arrivés//
82 (7')	E (Claude) : Ben c'est une théorie
83	E (Hélène) : Si ça se trouve ils ont trouvé que des fossiles avec des animaux aquatiques

Ce qui rejoint une dialectique historique entre les patterns ou canevas évolutifs et les process ou mécanismes évolutifs, « Les *patterns* évolutifs constituent les résultats concrets de l'évolution, en ce qu'ils expriment la matérialité de son déroulement historique : c'est la phylogénie. Ces résultats, à leur tour, sont la conséquence (et expriment) les mécanismes évolutifs sous-jacents (*process*) mis en jeu » (Ricquès, 2006, p. VIII). En conséquence l'analyse des produits de l'évolution que sont les fossiles et les êtres vivants actuels ne doit pas être confondue avec la recherche des processus de l'évolution. Signalons que les élèves envisagent d'emblée deux processus, une préadaptation des amphibiens (O4) ou une adaptation ultérieure des autres êtres vivants sous la pression d'un environnement modifié (O5A). De plus ils distinguent une transformation graduelle (O5B) des adaptations précédentes, éventuellement brusques.

En corrélation la seconde opposition se situe entre les données immédiates par les êtres vivants actuels et les données reconstruites des archives passées. Nous constatons la prégnance de l'actuel dans la recherche d'explications, le cycle de vie à développement indirect entre un stade aquatique et un stade aérien des amphibiens (R8A, O1, O4), la respiration branchiale d'un poisson actuel (O4), les organes locomoteurs des animaux aquatiques actuels (R4). Soit ces références actuelles aident à penser une transformation des vivants (R6) soit au contraire elles s'opposent à cette conception (O4). De ce fait autant la déduction du paléoenvironnement est largement discutée (R3, R5, O1) en corrélation avec des repères dans la biodiversité actuelle, autant la reconstitution historique est à peine ébauchée (R1B, R2A). La fonction de fossile de faciès semble alors exclusive par rapport à la fonction

de fossile stratigraphique qui n'est jamais évoquée. Signalons que l'obstacle réside dans la méconnaissance de la méthodologie scientifique du paléontologue pour reconstruire une histoire des vivants à partir des archives fossiles ordonnées dans des strates, éléments primordiaux qui n'ont jamais été évoqués par la classe. Ce blocage est clairement explicité par le questionnement des élèves (Q3 et Q4) qui le reprennent très souvent à l'encontre des affirmations de certains élèves. En effet un fossile décontextualisé de son encaissant rocheux et stratigraphique ne peut donner lieu qu'à des interprétations partielles, d'où l'association incontournable dans les différentes définitions de fossile du XIX^e au XXI^e siècles. La double dimension, environnementale par la biologie et historique par la stratigraphie, est fondamentale.

Enfin la troisième opposition se construit sur l'antécédence ou non des changements de milieu par rapport aux modifications physiques des vivants. Soit le milieu induit une transformation du vivant (R8A, O5A), soit le vivant possède déjà les caractéristiques nécessaires à l'adaptation d'un nouveau milieu de vie (O4) ou crée de nouveaux organes pour se nourrir (R8A). A nouveau le manque de repères temporels apparaît comme un obstacle à l'acceptation plus particulièrement du passage des espèces aquatiques aux espèces terrestres qui est un des problèmes centraux pour les élèves. La prégnance de l'actuel par la restriction du raisonnement sur un individu « poisson actuel » arrête, par exemple Sonia, sur l'impossibilité d'adaptation et de conquête du milieu terrestre par les êtres vivants (O4). Alors que deux élèves se mobilisent pour la convaincre d'une possibilité de transformations graduelles (O5B) si un temps long est envisagé.

365	E (Sonia) : Non mais je disais : si un poisson il va sur la terre. Il est habitué à vivre dans l'eau, et ben après il va enfin il va se dessécher, il est plus dans son élément. Y'en a p'tre qui pourront s'adapter, ceux qui vivent dans l'eau et dans sur la terre mais y'en a qui pourront p'tre pas.
366	P : A ton avis, ils ne pourront pas ou ils ne pourront peut-être pas ?//
367	E (Hélène) : Ben au fil du temps//
368	P : Tu sors un poisson de l'eau actuellement...
369	E (Sonia) : Ben il meurt. Il se dessèche !
370	E (Hélène) : Oui mais c'est au fil du temps, y'a des changements. L'espèce elle en a fait..., elle en fait d'autres puis encore d'autres puis ça <i>continue</i> //
371	E (Aurélie) : Non mais c'est pas d'un seul coup comme ça (<i>geste explosif</i>). C'est pas quelqu'un qu'est sorti puis POUH ! (<i>geste explosif</i>) Surprise il est sur la terre.

D'ailleurs les élèves envisagent que ce modèle évolutif puisse fonctionner aussi pour le monde végétal exprimée d'abord « avant il y avait des algues et une fois que l'eau elle est partie, ben c'est les algues se sont transformées en végétation pis c'est resté comme ça » (Hélène, Annexe 35, occurrence 217) puis exprimée ainsi « l'évaporation aurait adapté les plantes aquatiques au soleil, à ne pas avoir besoin d'eau » (Clément, Annexe 35, occurrence 377).

10. 3.2 Vers la schématisation d'un espace de contraintes et de possibles, du débat en classe à l'identification et la catégorisation des contraintes mobilisées par les élèves

Pour entrer au cœur du savoir scientifique et de sa construction spécifique nous allons passer des espaces-problèmes précédents à un espace de contraintes. Cette représentation est réalisée en s'appuyant sur une méthode d'étude des débats collectifs (Orange, 2000, pp. 62-68) qui vise à schématiser plus spécifiquement la dynamique d'une **co-construction de raisons vers des « contraintes problématisantes » ou nécessités**. Méthodologiquement cette approche présente deux temps délicats d'analyse, l'interprétation des nécessités dans le savoir reconstruit par les élèves et la frontière de catégorisation entre les différents registres mobilisés. Nous allons prendre en compte pour notre analyse trois épisodes du débat qui portent sur la même problématique de succession des êtres vivants animaux au cours des temps géologiques (Annexe 35, occurrences 1 à 161, 213 à 236 et 339 à 378).

Les premières unités d'analyse considérées sont les interventions des élèves, leur synergie avec les interventions enseignantes pouvant être étudiée dans un travail ultérieur. Parmi les explicitations des élèves, seules seront conservées non pas les solutions mais les raisons avancées constituant des **éléments critiques pertinents en lien avec le problème scientifique** traité collectivement – spécifiquement ici, la position relative du papillon sur une frise du temps géologique parmi d'autres êtres vivants et plus généralement la mise en histoire raisonnée des animaux qui se seraient succédé sur Terre. Seules ces raisons contraignent le cheminement intellectuel collectif tendent vers un savoir scientifique apodictique, ce qui réduit notre corpus d'analyse. Mais le doute scientifique ou la prudence d'explicitation étant très prégnante chez la plupart des élèves, que ce soit dans le registre empirique ou dans le registre des modèles explicatifs, **peu de nécessités sont explicitées et nombreux sont les possibles formulés** comme nous l'avons déjà repéré dans la classe de CM2. Ainsi voyons en parallèle l'identification des contraintes et leur catégorisation.

Rappelons qu'une **catégorisation principale binaire des explicitations argumentatives des élèves** est effectuée en éléments empiriques et en éléments porteurs de modèles explicatifs. Soit les énoncés sont affiliés à un registre qui regroupe **les faits empiriquement constatables par les élèves**, « Celui des faits et des phénomènes que l'on cherche à expliquer » (Orange, 2003, p. 86). Par exemple Hélène propose d'étudier la morphologie et l'anatomie des fossiles « s'il a des sortes de nageoires ou d'ailes, on voit selon la forme. Les ailes c'est particulier, les nageoires aussi donc » (Annexe 35, occurrence 92). Le qualificatif de constatable doit être considéré au sens large, c'est-à-dire directement accessible au vécu des élèves par l'observation, la mesure, l'instrumentation technique, ou la médiatisation. Ainsi la découverte des fossiles d'animaux aquatiques « On a retrouvé des fossiles d'eau » (Annexe 35, occurrence 66) et leurs datations « Des millions d'années » (Annexe 35, occurrence 112) sont

classées dans ce registre. Bien que classer un argument temporel dans ce registre empirique est discutable comme nous le reverrons. Soit les énoncés sont affiliés à un **registre des modèles qui regroupe l'ensemble des idées explicatives** « Celui des élaborations explicatives construites comme tentative de solution » (ibid.). Même si la fonction épistémologique principale reste du domaine de l'explicatif, nous devons nuancer les statuts différents utilisés par les élèves. L'explication est une proposition hypothétique, tentant une piste de solution au problème soulevé. Ou bien elle a un statut nécessaire quand l'élève accompagne son explication d'adverbe tel sûrement « La vie elle est apparue avant dans l'eau. Sûrement c'était [...] des petites bêtes » (Tableau 21 et Annexe 35, occurrence 18). Et aussi les explications acquièrent un statut nécessaire quand les élèves se réfèrent à une faune actuelle incomplète qui peut enfermer un cadre de pensée.

Numéros d'occurrence	
77	E (Maxime) : Parce que dans l'eau ça sert à rien des pattes ! Quoi il faut avoir des nageoires.
83	E (Hélène) : Si ça se trouve ils ont trouvé que des fossiles avec des animaux aquatiques
85	E (Claude) : Sinon ils ont p'tre retrouvé les mêmes fossiles mais dans l'eau et pis d'autres XXX
88	E (Sonia) : Non il faut l'étudier.
90	E (Hélène) : Comment il est fait, le squelette et pis voilà
92	E (Hélène) : Ben oui, s'il a des sortes de nageoires ou d'ailes, des trucs comme ça, on voit selon la forme. Les ailes c'est particulier, les nageoires aussi donc heu ...
93	E (Aurélie) : Ca nous donne une idée sur le lieu de vie pis ensuite après ...
96	E : (Donc si on retrouve des nageoires, on va dire que c'est un animal) aquatique
98	E (Hélène) : Ben oui. En principe c'est ça
99	E : Parce qu'y a des têtards
104	E (Hélène) : Ben parce qu'avec les nageoires t'avance plus vite, tout ça.
110	E : Parce qu'y en a qui existe encore (des animaux aquatiques)

Nous pouvons remarquer d'une part que la nécessité co-construite de se déplacer dans le milieu aquatique uniquement avec des nageoires n'est pas un savoir qui sera validé au vu des mollusques ou des amphibiens ou même de certains oiseaux par exemple. La causalité de la présence d'organe à un milieu déduit est différente de la pluralité des organes locomoteurs dans ce même milieu. Et d'autre part même en explicitant une nécessité les élèves la relativisent très rapidement comme Sonia ou Hélène (Annexe 35, occurrences 18 et 98). Ou bien la contrainte du modèle explicatif a un statut possible souvent associé à une prudence énonciative par Maxime « si on trouve un être vivant qui a vécu dans l'eau comme on l'a dit, si on retrouve les mêmes caractéristiques sur un être vivant qu'on a trouvé sur la terre ferme, on peut supposer peut-être qu'il y a eu évolution entre les deux, il se sera adapté sur la terre ferme » (Annexe 35, occurrence 116). Enfin d'autres arguments sont apportés comme des postulats qui contraignent l'explication dans un champ de raisons théoriques. L'explication est admise par l'élève comme théorie non questionnée. C'est le cas de Maxime « Y'a eu un

âge (de la Terre) où il y a eu de l'eau » (Annexe 35, occurrence 62) qui rebondit sur la proposition de Sonia (Tableau N°21 et Annexe 35, occurrence 18) tous deux affirmant l'apparition d'une vie en milieu aquatique. Nous aboutissons par exemple à la catégorisation suivante pour un court extrait de débat.

Tableau N°21 : Extrait d'une controverse scolaire sur la parenté entre des fossiles d'animaux aquatiques et des animaux actuels terrestres, catégorisant les interventions des élèves selon la nature ou la fonction des arguments avancés

Numéro d'occurrence	Interactions langagières élèves	Catégorisations	
18	E (Sonia) : La vie elle est apparue avant dans l'eau. Sûrement c'était petit, qu'il y a peut-être des êtres, enfin je sais pas moi je dis ça des petites bêtes	CMt	Cf
21	E (Sonia) : Voilà ça a donné Peut-être que... peut-être que les êtres d'eau ils ont donné le papillon !	CM	Cf
23	E (Sonia) : Oui mais c'est moi qui pense ça hein !		
24	E (Hélène) : Oui mais avec la composition qu'il y avait y'a avait on pouvait mettre d'abord les êtres aquatiques avant de mettre le papillon		
28	E (Eva) : Nous, on dit pas <i>que</i> le premiers mais dans les premiers , ça voudrait dire que ce serait pas le premier à être apparu. Pas forcément.	CM	Po
29	E : Voilà, au début XXX		
30	E (Eva) : Sur Terre, c'est sur Terre		
32	E (Claude) : Enfin moi je pense que ça dépend comment on les classe. Si le papillon on le place en fonction du moment où il est apparu , comme je pense que c'est un des premiers êtres à être arrivé sur Terre enfin XXX. Je pense que si on classait selon quand est-ce qu'il a été découvert par l'homme , ça serait après. Si c'est quand il est arrivé sur Terre, ça serait plus avant, pis dès que si on classait dès qu'on aurait commencé à l'étudier ce serait plus loin encore.	CM CE	Cf Po
40	E (Hélène) : Quand on l'a découvert, ça dépend quand on l'a découvert		
41	E (Aurélien) : Ben non parce qu'on n'a pas découvert les dinosaures	CE	Cf
42	E (Hélène) : Oui mais on a découvert les squelettes donc XXX	CE	
47	E (Hélène) : Ah oui ah ben on a retrouvé des squelettes, donc on peut savoir à peu près à quelles époques ils étaient tous là mais bon	CE-CM	
49	E (Alexandre) : Ben ça nous donne une idée.		
50	E : Et si c'est une fausse idée ?		
51	E (Claude) : Y'a longtemps, enfin on suppose que c'était y'a longtemps XXX enfin on suppose en les analysant	CE-CM	
53	E (Maxime) : Si ils sont vieux ça dépend du milieu si il est protégé XXX les scientifiques ils leur XXX donc	CE	
55	E (Sonia) : Faut voir aussi avec les os qui trouve, avec les autres fossiles qui trouve, chais pas.	CE	
56	E (Laurine) : Ce qu'il y a autour, ce qu'il y a à l'intérieur , avec la matière enfin qu'il y a dedans	CE	
CE = contrainte empirique ; CM=contrainte des modèles explicatifs ; CMt = contrainte théorique Cf = contrainte de fermeture du raisonnement ; Po = contrainte d'ouverture du raisonnement			

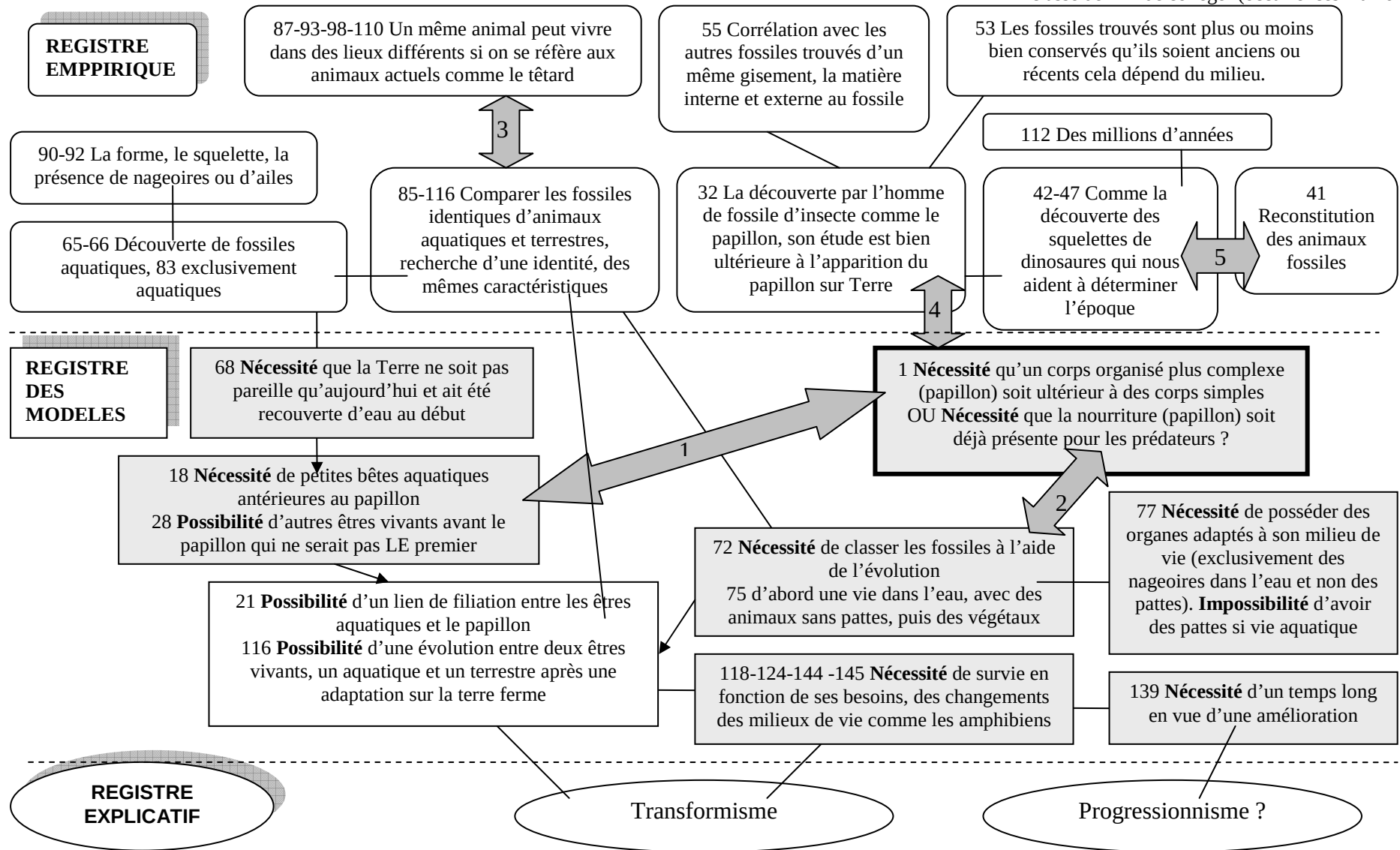
Les différents arguments du registre des modèles sont énoncés comme de rares **nécessités** ou des **conditions de possibilités** plus fréquentes qui toutes contraignent l'explication dans un champ de raisons scientifiques en regard du problème débattu. Il y a donc en permanence une alternance entre des possibles et des nécessaires dans le raisonnement des élèves. La notion de

contrainte accepte alors un certain degré d'apodicticité. La discussion converge principalement autour de la forte probabilité d'une origine aquatique marine des animaux, idée lancée au départ par Sonia. Dans ce sens il nous faudra différencier des premières nécessités émises par assertion et des nécessités issues d'un consensus de discussion.

10. 3.3 L'espace de contraintes en jeu : représentation globale et analyse des liens et mises en tension repérés

L'architecture des raisons est schématisée par trois types de liens tissés entre les contraintes différenciées en argument empirique ou explicatif. D'une part des liens non orientés sont visualisés par des traits simples. Ce qui signifie qu'il n'y a pas de sens explicite de raisonnement entre des contraintes au sein de chaque registre respectif ou encore entre des données empiriques et un modèle explicatif. Par exemple des données paléontologiques, telles les similitudes des fossiles d'animaux aquatiques et terrestres, peuvent induire un modèle explicatif de leur filiation ou inversement ce modèle explicatif de parenté entre vivants peut conduire à une comparaison orientée des archives fossiles. De plus parfois la relation peut être faite au sein d'une même intervention comme Hélène « Si ça se trouve ils ont trouvé que des fossiles avec des animaux aquatiques » (Annexe 35, occurrence 83) en réponse à ses pairs. Le fait de découvrir des fossiles identifiant un milieu aquatique appartient explicitement au registre empirique. Mais l'idée d'une généralisation à tout fossile d'animaux aquatiques renvoie implicitement à la théorie de l'évolution comprenant une origine aquatique de la vie, proposée antérieurement par Claude, Maxime ou Sonia (Annexe 35, occurrences 82, 75, 18). D'autre part, par contre, il peut y avoir un sens logique d'articulation entre modèles explicatifs. Par exemple si on admet une origine aquatique de la vie sur Terre, alors un modèle explicatif d'antériorité des animaux aquatiques par rapport au papillon terrestre peut être construit et justifié. Enfin un troisième type de lien visualise une mise en regard problématisant car il souligne les arguments contradictoires. Ces mises en tension constituent des nœuds de controverse et de résistance au sein du groupe. Symbolisées par des flèches à double sens, elles représentent des temps critiques du débat. Ce réseau articulant l'ensemble du système explicatif de la classe en débat est qualifié d'espace de contraintes et de possibles (Schéma N° 29). Il peut être mis en corrélation avec les formulations des élèves retenues et organisées en premier lieu (Annexe 37).

Schéma N°29 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES de la controverse de succession et de parenté des espèces animales sur Terre** - classe de 4^{ème} de collège- (occurrences 1 à 161)



Outre la toile d'arguments tissés, leur diversité et leurs liens, ce sont les noeuds de controverses, mettant en tension le registre empirique et le registre des modèles explicatifs, qui constituent la pierre angulaire de la discussion. Plusieurs contraintes empiriques caractérisant le papillon sont mises en avant par les élèves à la recherche d'une solution : sa complexité, sa taille, sa niche écologique. Certains élèves souhaitent placer cet animal en début de frise des temps géologiques. La première raison avancée évoque la relation de prédation. Le papillon en tant que proie appartient aux premiers niveaux trophiques, en conséquence il serait aussi premier sur Terre. La seconde raison est sa petite taille, les premiers animaux devaient être très petits. Ces deux logiques explicatives s'entrechoquent avec d'autres raisons qui défendent le placement du papillon en fin de frise chronologique. Son milieu de vie terrestre s'oppose à la théorie d'une vie primitive aquatique (tension 1). Sa structure corporelle s'oppose à la simplicité supposée des premiers vivants. Enfin la théorie de l'évolution suffit à admettre une filiation et une adaptation ayant permis la conquête du milieu terrestre par le papillon à partir d'« ancêtres » aquatiques moins complexes (tension 2). Ou encore un critère anthropocentré est en opposition avec l'apparition de l'animal sur Terre, la découverte et l'étude tardives par l'homme (tension 4). Ce qui rejoint un autre désaccord sur la fiabilité d'une reconstitution paléontologique et de sa datation à partir des restes d'animaux fossilisés (tension 5). Pour finir la validité de généralisation de causalité entre l'analyse d'un squelette et le milieu de vie déduit par mobilisation des connaissances des cycles de vie à développement indirect qui concerne les amphibiens comme des insectes entre autres, est un autre point de désaccord mettant en tension deux éléments du registre empirique (tension 3). Pour conclure nous pouvons remarquer que, seul, un registre explicatif transformiste est explicité à travers les raisons apportées par les élèves dans cet extrait de débat : « peut-être que les êtres d'eau ils ont donné le papillon ! » (Sonia, Annexe 35, occurrence 21) ou « on peut supposer p't-être qu'il y a eu évolution entre les deux (animal aquatique fossile et animal terrestre actuel) » (Maxime, Annexe 35, occurrence 116). Il se peut que des raisons appartenant à un registre explicatif fixiste aient pu donné lieu à une partie de la question de départ mettant en avant que le milieu de vie doit être préparé avant l'apparition d'un prédateur « Le papillon est-il apparu dans les premiers êtres vivants sur Terre parce qu'il servait de nourriture ? ». L'analyse des quatre productions d'élèves concernés –Annexe 34 : une conception à tendance catastrophiste par Kévin, une conception à tendance anthropocentriste par Mina, une conception à tendance environnementaliste par Eva, une conception sans tendance exprimée par Sylvain- ne nous permet de le déduire. Mais cette question était par ailleurs en tension avec la première partie du questionnement affiliée, elle, à un registre explicatif transformiste mobilisant la complexification des êtres vivants au cours des temps géologiques.

10. 4 Problématisation et approche langagière

10. 4.1 Lien entre problématisation et questionnement d'élèves au cours du débat : un changement de posture

En relation directe avec l'analyse sous forme d'espaces-problèmes dans lesquels les inférences apocritiques et problématologiques se relayent dans l'investigation collective, la place occupée par le questionnement des élèves est fondamentale au service de la problématisation à propos de la mise en histoire des êtres vivants sur Terre. Les élèves tentent de cerner la complexité de cette problématique selon tous ces angles d'approche. Déjà le premier épisode du débat collectif fait apparaître une richesse de questions scientifiques adéquates en paléontologie : les problèmes de l'origine de la vie aquatique sur Terre, de la chronologie relative entre deux fossiles découverts, de la corrélation entre organes et biotope, suivis des problèmes de filiation entre espèces aquatiques et terrestres et de l'hominisation dans la seconde partie. Tous relèvent de problèmes fondamentaux scientifiques.

Tableau N°22 : Typologies des questions d'élèves explicitées lors de la controverse à propos de la succession et de la parenté des êtres vivants sur Terre

Questions d'élèves explicitées	Catégorisations du questionnement ou du doute exprimé	Appartenance du questionnement à un problème scientifique
- Oui mais comment on sait qu'il y eu de l'eau ? Comment on sait au début qu'il y eu ça aquatique c'était ça ? (Hélène, 64) - Oui mais comment tu le sais que <i>c'était dans l'eau</i> ? (Aurélié, 78) - Oui mais comment on sait qu'avant il y avait de l'eau ? (Sonia, 218) - Moi j'arrive pas à comprendre comment on sait qu'il y avait que de l'eau. On n'était pas là pour le voir donc (Sonia, 220)	Questions ouvertes de méthodologie	Problème de l'origine aquatique
- Il faudrait déjà savoir comment on fait pour ... Comment on fait pour dire que ça c'est le plus vieux et à partir de ça pour en déduire ? Je pense qu'ils ont commencé par trouver un animal ou un être plus vieux, et que ensuite que tout en découle donc ... Mais comment on a fait pour en dire que c'était celui-là le plus vieux ? (Aurélié, 57) - Et comment on a dit avec les fossiles que c'est cette époque là qui est arrivé avant l'autre ? C'est facile de retrouver des fossiles. Mais comment on les classe après ? (Aurélié, 71)	Questions ouvertes de méthodologie	Problème de chronologie relative
-Est-ce que le papillon est apparu en dernier sur la frise du temps à cause de sa complexité ou est-il apparu dans les premiers êtres vivants sur Terre parce qu'il servait de nourriture ? (groupes d'élèves, 1)	Question fermée de raisonnement contenant deux réponses	Problème de filiation entre espèces aquatiques et terrestres
- Mais si il y avait <u>que</u> de l'eau ou alors si il y avait aussi un peu de terre ? (Sonia 237) - Mais peut-être que quand la terre s'est réchauffée, l'eau s'est évaporée (Claude, 239) - Au début y'avait pas de pots d'échappement, ben alors pourquoi ça s'est réchauffé ? (Aurélié 247) - Avant la météorite si elle a eu assez de conséquence pour détruire l'existence des dinosaures, pourquoi est-ce elle aurait pas assez de conséquence pour faire un réchauffement de la planète ? ! C'est quand même un bouleversement de la planète, ça, détruire des dinosaures. Alors pourquoi pas sur l'eau aussi ?! (Maxime, 293)	Question fermée factuelle contenant deux réponses Question fermée de raisonnement contenant une réponse Question ouverte de raisonnement et de mise en relation Question fermée de raisonnement et de mise en relation	Problème de formation originelle de la Terre et d'évolution des milieux

L'ensemble des questions formulées par les élèves indique qu'ils sont mobilisés par la problématique de succession des êtres vivants sur Terre en regard de l'actualité scientifique environnementaliste qui influence leurs raisonnements. Un autre point important est qu'ils sont aussi fortement interpellés par la méthodologie scientifique contrairement aux classes de CM1 et CM2 qui restaient beaucoup plus centrées sur les solutions recherchées.

Le moment de débat démontre un **changement notable de posture des élèves** vis à vis du problème initial de l'enseignant et de leur potentiel de questionnement. Une première condition est de se détacher d'une solution juste ou fausse. L'enseignante avait clairement contractualisé cette nouvelle posture en tout début de la séance du débat étudié puisque le travail initial par groupe devait aboutir à un questionnement « C'est vous qui posez des questions aujourd'hui, ce n'est pas le professeur. Ca change un peu ». Mais elle ressent l'obligation de la reformuler pour que les élèves osent prendre la parole « Non mais on ne te demande pas si il y a eu une météorite, on te demande ce que tu penses de ce que dit Maxime. Ce n'est pas pareil. On ne te demande pas de trancher. Qu'est-ce que tu en penses toi de cette histoire de météorite ? Tu as compris pourquoi il a parlé de météorite ? Pour expliquer quoi ? » (Annexe 35, occurrences 279 et 281). Malgré tout les élèves expriment cette distorsion en tout début de discussion collective « Oh ben elle donne la réponse ! » ou cette crainte « Et si c'est une fausse idée ? (L'étude du squelette donnerait une information sur l'époque) » (Annexe 35, occurrences 5 ou 50). Les rôles routiniers d'élève répondeur face à l'enseignant questionneur sont inversés. Le **champ de questionnement est légitime**, différencié entre problématique, problèmes et questions qui constituent à la fois une structuration hiérarchisée de la problématisation mais aussi une dynamique du système de raisons en cours d'élaboration. Il est intéressant de repérer soit la déstabilisation effective par ce changement de posture pour certains élèves soit une mission qui leur semble impossible comme Laurine « Ah ben si on part là dedans on va jamais finir ! Ben comment la Terre elle s'est créée aussi ? On peut pas savoir ça ! » (Annexe 35, occurrence 73). Alors que finalement dans une autre phase du débat les élèves sont revenus sur ce problème et l'ont disséqué au point de proposer huit hypothèses en lien avec la formation originelle terrestre (Schéma N° 27, R10 à R12). L'impensable devient concevable par un questionnement élaboré et un fondement d'hypothèses que les élèves se permettent d'imaginer à propos de la possibilité d'une conquête du milieu terrestre par les espèces aquatiques.

347	E (Anne) : Avec l'évolution des paysages, des séismes, des volcans, on a peut-être créé des continents et ce qui a ...heu...
348	P : Oui ce qui a permis hein d'avoir des espèces sur la terre. Mais comment une espèce qui est dans l'eau ... ?
349	E (Aurélie) : Si elle est obligée de de se ...//
350	E : De sortir //
351	E (Aurélie) : d'aller sur terre soit pour éviter un danger, soit pour se nourrir, soit pour euh...//
352	E : Non mais ça se peut pas //
353	E : Non mais t'imagines ! //
354	E : Ben oui mais elle va s'adapter//
355	E : Ben pas forcément//
356	P : Laissez Aurélie terminer et vous réagissez après.
357	E (Aurélie) : Ben oui mais ça peut être ça aussi. Si après les animaux aquatiques ils ont été obligés de sortir de l'eau pour ...euh ... soit éviter des dangers, soit se nourrir, ou n'importe quoi. Ils ont obligé, ils ont été obligés de changer d'aspect pour s'adapter aux conditions extérieures.
358	E : Non mais ils peuvent pas respirer sur terre aussi !
359	E (Aurélie) : Comment ?
360	E (?) : Non mais ils peuvent pas respirer sur terre.
361	E (Aurélie) : Oui ben justement, ils vont s'adapter après

Notons que les élèves, comme Aurélie par exemple, raisonnent sur des individus et non pas sur des populations pour expliquer la sortie des eaux. Ce qui constitue un obstacle à l'appropriation du concept d'évolution. Le doute est fort présent par l'adverbe « peut-être » très fréquemment utilisé par les élèves pour l'ensemble des problèmes dont ceux de filiation des espèces et de disparition des êtres vivants non explicités sous forme de questionnement. Mais surtout quelle liberté ont-ils pour reconstruire une histoire des vivants sur Terre ?

Dans ce sens **la pertinence du questionnement explicité par les élèves va jusqu'à questionner la méthodologie des scientifiques.** Ceci révèle une dévolution de la problématique initiale en positionnant aussi clairement les difficultés. D'un point de vue conceptuel, la pierre d'achoppement des collégiens est bien la notion de chronologie relative corrélée aux strates. Ceci est fort bien exprimé par les questions d'Aurélie sur l'antériorité des fossiles les uns par rapport aux autres (Tableau N°22). En conséquence l'accent est mis à plusieurs reprises sur la méthodologie du paléontologue : relativité de la biologie actuelle prise en référence, effleurement du principe stratigraphique de datation relative des fossiles et globalement originalité de cette démarche de preuve par déductions historiques croisée avec l'incontournable biodiversité d'aujourd'hui. Ainsi lors d'un instant critique, le débat s'anime entre plusieurs élèves qui déstabilisent les certitudes de Maxime et Claude. La validité de leurs déclarations est au centre de la discussion. Le développement de véritables arguments empiriques et explicatifs est demandé, soulevant la méthodologie d'élaboration des savoirs scientifiques de l'histoire de la vie sur Terre.

62	E (Maxime) : On sait qu'y a eu un âge où il y a eu de l'eau.
63	P : Y'a eu un âge où il y a eu de l'eau.
64	E (Hélène) : <i>Oui mais</i> comment on sait qu'il y eu de l'eau ? Comment on sait au début qu'il y eu ça aquatique ?
65	E : Parce qu'il y a eu des fossiles
66	E : On a retrouvé des fossiles d'eau
67	P : Alors qui aide à trouver...
68	E (Maxime) : Parce que la Terre elle était pas pareille
69	E (Hélène) : Oui mais comment on la su ?
70	E (Maxime) : Ben heu c'est comme ça
...	
257	E (Maxime) : HEIN ET le soleil, peut-être qu'il y avait pas de protection d'atmosphère comme aujourd'hui et la Terre a peut-être évoluée la Terre a peut-être eu une évolution
258	E : Mais comment on le sait ? Comment on le sait ?
259	E : Comment on peut l'savoir ?
260	E : Oui mais Maxime, il ne dit pas <u>que</u> la Terre a évolué, il dit bien que la Terre a peut-être évolué ! Alors il se pose la question, c'est pas sûr.
261	E (Maxime) : C'est une hypothèse !
...	
307	E (Eva) : Mais ...Par rapport aux dinosaures mais ils sont ... On n'est pas sûr qu'ils ont disparu à cause d'une météorite hein, les avis sont partagés hein.
308	E (Maxime) : Oui mais j'ai dit peut-être hein. //
309	E : Non, t'as pas dit peut-être, t'as dit que c'était sûr !//

Enfin les élèves raisonnent sous l'influence de l'actualité scientifique. Ils évoquent les deux extrémités de cette histoire qui gardent encore aujourd'hui un fort caractère problématologique. Même si il y a un décalage entre les préoccupations ciblées actuellement - l'origine moléculaire de la vie et l'évolution buissonnante de l'humanité- et le questionnement formulé par les élèves à propos plutôt de l'origine aquatique de la vie (Tableau N°22 ci-dessus) et la définition de l'espèce humaine exprimée par Aurélie « il faudrait savoir pour commencer qu'est-ce qu'on appelle homme ? Parce que tout à l'heure ils disaient ... moi je pense que l'homme préhistorique c'est un homme, l'homme c'est pas un singe. Qu'est-ce qu'on appelle un homme ? » (Annexe 35, occurrence 422). Même si par son questionnement l'enseignante oriente la recherche dans le monde animal pour retrouver des principes fondateurs de la paléontologie, les élèves fonctionnent selon un mode de pensée à la fois divergent et anthropocentré qui les ramènent souvent vers une réflexion sur l'espèce humaine, constatée par exemple par l'enseignante avant la passation du second groupe « En fait on est passé du papillon à l'espèce humaine » (Annexe 35, occurrence 212).

L'enseignante a par la suite organisé un travail de recherche documentaire autonome qui distinguait un ensemble de questions d'élèves rappelées, issues de cette séance de débat, et le problème scientifique corrélé structurant (Annexe 38). En définitive les questions élaborées d'élèves sont tout autant porteuses de raisons que leurs assertions. Leur légitimité est tout autant didactique, première phase de problématisation au sein de la classe, que scientifique, en regard de l'actualité. Nous regrettons d'un point de vue méthodologie de recherche de n'avoir pas enregistré pour chaque groupe les discussions préliminaires au débat, faute de matériel.

Car les questions élaborées, produit de ces discussions, révélaient d'emblée une logique argumentative intéressante sous-jacente.

10. 4.2 Lien entre problématisation et argumentation : les fonctions argumentatives des activités langagières dans la problématisation

En relation directe avec l'analyse sous forme d'espaces de contraintes dans lesquels les raisons oscillent entre arguments empiriques et arguments des modèles explicatifs ainsi qu'entre nécessités et possibles, la place occupée par l'argumentation est primordiale dans la co-construction de la problématique de la mise en histoire des vivants sur Terre. D'après le modèle argumentaire de Toulmin nous avons schématisé les deux logiques les plus élaborées de la discussion entre élèves qui reflètent une problématisation effective.

Schéma N° 30 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE en faveur d'une filiation entre les espèces aquatiques et terrestres** (Episode 1- occurrences 1à 161)

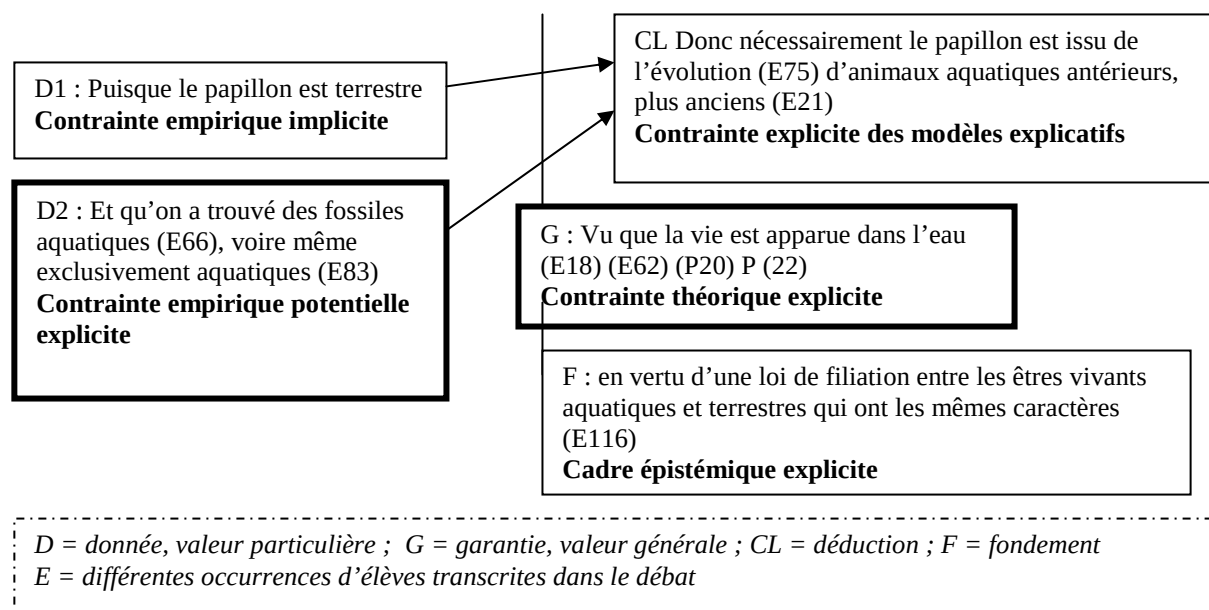
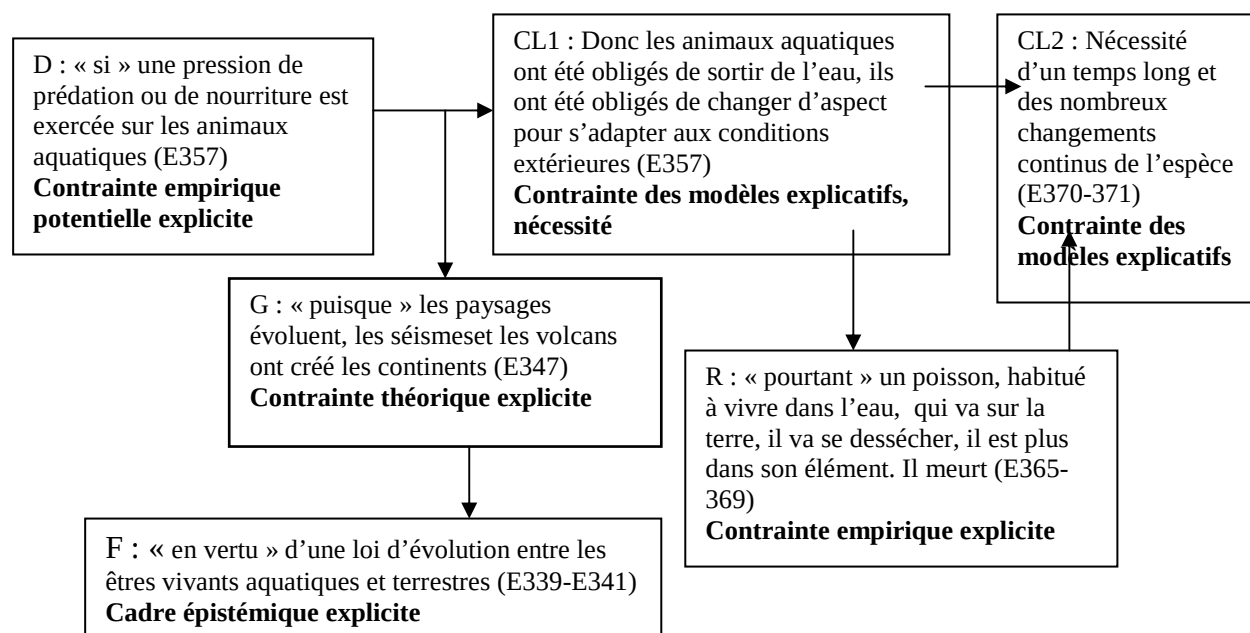


Schéma N° 31 : **MACROSTRUCTURE ARGUMENTATIVE en faveur de la conquête du milieu terrestre par les espèces aquatiques** (Episode 2- occurrences 339-378)



D = donnée, valeur particulière ; G = garantie, valeur générale ; CL = déduction probable ;
F = fondement ; R = restriction, réfutation
(E = différentes occurrences d'élèves transcrites dans le débat)

Ces deux argumentaires convergent vers la même démonstration d'une antériorité des animaux aquatiques par rapport aux animaux terrestres reléguant l'ensemble du cheminement intellectuel au second plan. Les contraintes théoriques -une panthalassa puis une formation ultérieure continentale- et la loi commune d'évolution engagent un enchaînement causal dont la cohérence va faire tendre le modèle explicatif vers une apodicticité. Une donnée paléontologique -l'exclusivité d'animaux aquatiques fossiles dans les premiers temps de la Terre- et une donnée écologique -pression du biotope- amènent à une conclusion similaire la filiation entre les animaux aquatiques anciens et les animaux antérieurs récents qui ont conquis de nouveaux territoires continentaux en s'adaptant. La difficulté principale de compréhension pour les élèves résulte dans cette idée d'adaptation. En approfondissant la réflexion et en se détachant d'une représentation historique narrative qu'exprime Aurélie « Non mais c'est pas d'un seul coup comme ça (*geste explosif*). C'est pas quelqu'un qui est sorti puis POUH ! (*geste explosif*) Surprise il est sur la terre » (Annexe 35, occurrence 371), elle conduit à expliciter la nécessité d'un temps long par Hélène « au fil du temps, y'a des changements. L'espèce elle en a fait..., elle en fait d'autres puis encore d'autres puis ça continue » (Annexe 35, occurrence 370). Cependant si les élèves, collectivement, approchent la notion de temps géologiques, ils restent encore très éloignés des nécessités d'un

raisonnement à une échelle populationnelle représentant un pool génétique de variabilité (Girault, 2000). Certains élèves prennent conscience peu à peu que ces contraintes théoriques qu'ils affirment fondent la solution la plus probable. **Si précédemment l'impossible devenait possible par le questionnement positionnant le problème adéquat, ensuite le possible devient probable puis nécessaire par une cohérence d'arguments.** Par contre les élèves ne réalisent encore pas que leur solution redécouverte collectivement a été validée après de nombreuses observations collectées dans différents terrains géologiques, puis corrélées et interprétées par la communauté scientifique sur plusieurs siècles d'étude et de discussion. La nécessité d'une ancienne vie marine résulte d'une construction intellectuelle historique qui a généré des débats récurrents (Crépin-Obert, 2005). Nous pouvons rappeler aussi les interférences entre les données biologiques et géologiques. C'est pourquoi nous regrettons que la fonction stratigraphique des archives paléontologiques n'ait pas été plus approfondie dans ce débat scolaire de 4^{ème} de collège.

Mais la démonstration d'une origine aquatique des vivants qui questionnent tant les élèves de collège, a été historiquement prouvée la première fois à partir des données biologiques telles les polypes ou les vers « on peut regarder comme une vérité de fait que c'est uniquement dans l'eau que le règne animal a pris son origine » (Lamarck, 1802/1986, p.76). Il avancera cette probabilité à plusieurs reprises (Lamarck, 1809/1994, p. 403 et p. 644). Dans la pensée de Lamarck, la conception fixiste aura laissé la place à une conception transformiste pour trouver une nouvelle cohérence à la diversité des êtres vivants « L'inconcevable aura cédé la place aux nouvelles convictions soutenues par un efficace ensemble d'arguments » (Tirard, 2006, p. 79). En effet dans la nouvelle conception transformiste de Lamarck en 1802, la dimension historique se traduit par deux axes. D'une part une échelle graduée et continue des êtres vivants actuels, partant de l'espèce humaine, est conçue selon une logique chronologique inversée avec une perte successive des organes, animaux privé de colonne vertébrale puis sans cœur puis sans fécondation sexuelle puis enfin sans vue et irritabilité. C'est une « dégradation » ou simplification de l'organisation des corps vivants progressivement des « animaux les plus parfaits » tels l'homme aux « animaux les plus imparfaits » tels les polypes (ibid., p. 18). C'est une classification anthropocentrée en référence de tous les caractères que possède l'espèce humaine. Et d'autre part l'idée d'un commencement d'animalité par plusieurs générations spontanées débutant les différentes séries telles celles des animaux articulés et celles des animaux inarticulés. En remontant le temps géologique, la représentation de cette classification nous donne une idée inversée de l'ordre naturel des transformations effectives.

Conclusion chapitre 10 : lien entre problématisation et travail sur les obstacles dans le cadre scolaire

Les apprentissages en classe de 4^{ème} font émerger **une problématique commune avec la classe de CM2** précédemment étudiée, la recherche de preuves d'un lien de parenté entre les espèces aquatiques et terrestres. Elle était centrée sur deux échantillons dans l'enseignement primaire, une ammonite et un escargot-. Dans l'enseignement secondaire elle est élargie à un ensemble d'espèces aquatiques et terrestres représentatifs de grands groupes du monde animal et végétal – cnidaires, échinodermes, arthropodes, vertébrés (chondrichthyens, archosauriens et mammifères), algues et phanérogames-. La dimension historique est beaucoup plus développée aussi chez les élèves de 4^{ème} par la recherche de leur position relative dans le temps d'apparition sur Terre. Le débat en sciences met au grand jour les résistances de pensée similaires, les blocages conceptuels tels la construction du problème d'ancêtre et de filiation entre des espèces actuelles et fossiles, terrestres et aquatiques. Deux grands types d'obstacles ont émergé dans cette classe de 4^{ème} où les élèves ont problématisé la séquence des vivants sur Terre.

Des obstacles épistémologiques liés aux concepts paléontologiques : récurrence d'obstacles en lien avec l'actuel

Au cours du débat les élèves de 4^{ème} semblent naviguer dans un seul registre explicatif, conformément à d'autres problématisations (Orange, 2005). La **pensée transformiste** semble consensuelle contrairement à la diversité des obstacles interprétés par le chercheur lors de l'analyse des conceptions/ modèles spontanés initiales individuelles des élèves. Cette pensée logique générale de niveau supérieur fonde la co-construction des faits empiriques et des modèles explicatifs. Elle « impose des règles à la construction des faits et de leurs interprétations » d'où sa dénomination possible aussi de « registre de principes régulateurs » (Rey, 2005, p. 96). En discutant de la chronologie relative des êtres vivants leur cadre transformiste s'accompagne de deux noeuds d'obstacles (Astolfi, 1993, p. 110). Le premier est fondé sur les lois écologiques des êtres vivants actuels. Et les élèves dévoilent en plus une **pensée catégorielle** : proies/anciens et prédateurs/récents ainsi que petits/simples/anciens et grands/complexes/récents. Quant au second il est basé sur les structures anatomiques et il rappelle la loi mécanique du progrès universel proposée par Spencer citée par Canguilhem (1993, p. 42). Transposé à l'exploitation des archives paléontologiques **la pensée progressionniste** induit que les êtres vivants se seraient succédé sur Terre, du plus simple au plus complexe. Elle a été clairement explicitée par Cuvier et Owen (Gohau, 2003, pp. 84 et 102). Cette loi du progrès aurait pour preuve les terrains anciens contenant des fossiles de zoophytes, mollusques et crustacés à l'organisation simple

et les terrains récents sus-jacents contenant des fossiles de mammifères à l'organisation complexe. Quant au papillon qui intéressait les élèves de 4^{ème}, représentant le groupe des insectes voire des arthropodes, il appartiendrait alors aux terrains anciens. Une pensée transformiste ou non peut s'emboîter avec une pensée progressionniste. Quoi qu'il en soit ce mode de pensée aboutit facilement à situer l'homme au sommet de la chaîne de transformation ou de création. Un registre explicatif **anthropo-finaliste** se surajoute alors. L'interaction de ces trois modes de pensée, transformisme, progressionnisme et finalisme conduit souvent les élèves à évoquer une adaptation des anciens vivants à leur milieu de vie, calqué sur l'actuel. Ils parviennent difficilement à l'exprimer autrement que comme une amélioration consensuelle par Laurine, Sonia et Hélène « Au fil du temps ça s'améliore / En s'améliorant quoi / Ça s'améliore au fil de ... selon l'environnement » (Annexe 35, occurrences 139 à 142). Certains élèves auraient-ils franchi le pas conceptuel d'une invention providentielle d'organes adaptés à un changement de milieu de vie –autrement dit envisageraient-ils une préadaptation d'organes adéquats à la conquête du milieu terrestre- ? Certaines interactions langagières l'indiqueraient : les organes déjà-là des êtres vivants amphibiens selon Sonia « Y'en a p'tre qui pourront s'adapter, ceux qui vivent dans l'eau et dans sur la terre mais y'en a qui pourront p'tre pas » (Annexe 35, occurrence 365) ainsi que la causalité exprimant une finalité par Aurélie « les animaux aquatiques ils ont été obligés de sortir de l'eau pour ...euh ... soit éviter des dangers, soit se nourrir, ou n'importe quoi. Ils ont obligé, ils ont été obligés de changer d'aspect pour s'adapter aux conditions extérieures » (Annexe 35, occurrences 357). De même que la fonction précède l'organe nécessaire, la nourriture peut être déjà présente avant l'apparition du consommateur (Annexe 35, occurrence 1). La frontière est fragile entre « les explications finalistes légitimes qui invoquent la sélection naturelle, et les autres qui relèvent de Pangloss¹⁹³ » (Gouyon, 1998). Concevoir une direction, une intention fait partie d'une « paresse intellectuelle » par rapport à concevoir le hasard et l'aléatoire. La tendance finaliste était décelable dans plusieurs conceptions initiales des élèves (Annexe 35) mais elle n'a pas été explicitée lors de la discussion collective, si ce n'est un anthropocentrisme exacerbé qui mobilisait très souvent l'évolution de l'espèce humaine alors que les problèmes initiaux portaient sur les animaux ou les végétaux. Le tableau ci-dessous fait la synthèse de ce finalisme latent.

¹⁹³ Pangloss est un philosophe dans le conte *Candide* de Voltaire. Précepteur de Candide et Cunégonde, il les initie à une pensée optimiste naïve « Tous les événements sont enchaînés dans le meilleur des mondes possibles » (1749 /2004, Paris, Librio, p. 95). Il est aussi décliné ironiquement comme un professeur de métaphysico-théologo-cosmolonigologie.

Tableau N° 23 : **Conceptions initiales anthropocentrées productions individuelles d'élèves de 4^{ème} – Tendance finaliste pour la mise en histoire des êtres vivants sur Terre**
(Annexe 34)

Critère anthropocentré	Explications des élèves
Nourriture (de l'homme ou d'autres êtres vivants)	Mina : « le requin, je pense existait avant l'homme, car l'homme chassait le requin » Maxime Ba : « je sais que les êtres vivants végétaux sont apparus avant les êtres vivants animaux, donc j'ai placé les êtres vivants végétaux avant les êtres vivants animaux. Je sais aussi que la vie s'est développée d'abord dans l'eau puis sur terre, j'ai donc placé les algues avant le pin. Je sais aussi que les hommes préhistoriques chassaient le mammouth, donc le mammouth est apparu avant les méduses, et que les insectes se sont développés à l'époque des dinosaures. La méduse, la méduse, l'étoile de mer, le requin » Eva : « Pour que les algues apparaissent avant il y avait les bactéries donc les méduses apparaissent ainsi que l'étoile de mer. Pour que le crocodile sorte de l'eau il lui faut de la nourriture donc des papillons etc... »
Découverte par l'homme	Claude : « je n'ai pas eu la même logique pour tout placé, pour ce dont j'étais à peu près sûr, je les ai mis là où je pensais que c'était bien (en fonction du temps de vie (là où ils ont vécu)), et pour d'autres, je les ai placés là où je pense que c'est à ce moment là que l'homme a découvert ces espèces »
Disparition d'animaux dangereux (tyrannosaure) avant l'apparition de l'homme	Kevin : « l'homme est apparu après le tyrannosaure car il y a eu un fort tremblement de terre et les dinosaures en sont morts l'homme est apparu après, c'est pour ça qu'il est toujours en vie »
Apparition différée d'animaux actuellement dangereux pour l'homme (crocodile, requin)	Sophie, Aline P., Aline M., Claude (explicite par le schéma mais pas par le texte associé, Annexe 34)
Homme placé en fin de ligne de temps après tous les autres êtres vivants (schémas Annexe 34)	Sonia : « L'eau et ses habitants sont apparus puis les animaux terrestres et enfin l'homme » Lucie : « J'ai mis le pin en premier avec l'algue, car je pense que la flore est apparue en premier sur la Terre après l'eau, puis j'ai mis les animaux d'eau puis l'apparition des animaux ne vivant pas dans l'eau, j'ai mis le tyrannosaure avant le mammouth mais je ne sais pas pourquoi, j'imagine mieux les dinosaures avant le mammouth et bien sûr l'homme en dernier » Maxime Ba et Eva (cf ci-dessus)

Quelques élèves en cours de débat convoquent l'évolution comme principe de séquençage des différents groupes d'êtres vivants qui se sont échelonnés sur Terre et dans lequel l'homme occupe aussi la position terminale. Cette pensée anthropocentrée déclinant l'homme en dernière position peut être affiliée ou non à une pensée progressionniste ou finaliste. Celle-ci assortie d'un cadre évolutionniste admis, est fréquente dans le cadre scolaire ; elle a déjà été repérée dans le secondaire par des explicitations analogues de collégiens et de lycéens et a été nommée **finalisme évolutiste** (Fortin, 2006). Elle a été analysée comme une résistance liée aux dogmes théologiques qui coexistent avec des données scientifiques. Mais ne serait-ce pas un obstacle plus profond qui engage effectivement plutôt la logique de succession des groupes « comme un continuum linéaire sur le modèle du développement embryonnaire passant par des stades intermédiaires » (ibid., p. 44). Dans ce cas la biologie du développement, science

fonctionnaliste, sert de référent pour penser la paléontologie évolutive, science historique, et elle lui confère un déterminisme certain. Nous retrouvons là une prégnance des observations sur le vivant actuel pour expliquer le vivant passé. Or les apparitions et les disparitions des espèces sont des événements historiques majeurs qui résultent d'un processus de filiation par mutation aléatoire et sélection naturelle dont le sens est incertain.

Analysant autrement les archives fossiles, de nombreux paléontologues alertent sur cette représentation biaisée d'une transformation linéaire de groupes successifs d'espèces (Gould, 1991 ; Ricqlès, 1998). Ils opposent au progrès linéaire, une théorie évolutive buissonnante en adaptation aux conditions changeantes fortuites de l'environnement. Plusieurs modèles explicatifs affiliés à des obstacles épistémologiques, peuvent donc être entrecroisés sans s'exclure dans la dynamique d'un débat car la cohérence du cadre global transformiste est préservée. Ces modèles explicatifs traduisent aussi des formes principales de raisonnement facilité et enraciné d'une connaissance commune qui font obstacle à la connaissance scientifique. La tendance commune d'une réduction fonctionnelle a été décelée dans les raisonnements utilisés par les étudiants et les enseignants dans la compréhension d'un système en sciences physiques (Viennot, 1989a). Or cette simplification, exprimée par un raisonnement linéaire causal, un raisonnement séquentiel entraînant une chronologie erronée, un système réduit à une seule variable, fait obstacle à la connaissance des systèmes complexes à plusieurs variables en électricité ou en mécanique. Cette étude nous éclaire sur le fait que les modèles explicatifs ont des interférences non seulement avec les concepts mais avec les méthodes scientifiques. L'étude du système complexe « Terre et vivants » peut renforcer cette approche.

Des obstacles épistémologiques liés aux méthodes paléontologiques : pertinence des registres mobilisés par les élèves en regard des registres de la communauté scientifique dans une problématisation

Jamais dans le débat les élèves de collège ne font référence aux strates géologiques et au principe de superposition qui construit la chronologie relative. Ce qui révèle des registres pauvres en lien avec la paléontologie puisqu'ils ne prennent en compte aucun indicateur de temps géologique. C'est un **raisonnement par analogie** avec la faune actuelle qui domine dans leur argumentation, en référence aux données biologiques et écologiques. Par exemple les organismes amphibies comme le crocodile ou la métamorphose du têtard, analogue à l'évolution des espèces, expliqueraient la sortie des eaux. Raisonner avec l'actuel est incontournable mais les élèves utilisent une méthode simpliste et décalée en rapport à celle des paléontologues pour esquisser la parenté des êtres vivants, la diversité des fonctions selon les milieux et l'évolution des paysages. La transposition abusive du concept de métamorphose est caractéristique de ce point de vue. C'est un obstacle majeur de « métamorphose possible

dans tout sens » (Canguilhem, 1985, p. 809), que nous avons déjà retrouvé dans deux recherches antérieures en didactique des sciences (Crépin-Obert, 2002 ; Orange-Ravachol, 2003). En histoire des sciences le *Telliamed* du milieu du XVIII^e siècle (Maillet, 1755/1984, pp. 250-253) nous offre un rapprochement certain avec l'argumentation des collégiens pour expliquer le peuplement terrestre – départ de la mer, danger d'un prédateur ou nécessité de nourriture, cycle de vie à développement indirect, animaux amphibies-. L'auteur peut être considéré comme précurseur du transformisme lorsqu'il dépeint sa sixième journée expliquant l'origine des animaux terrestres et de l'homme, conséquence du retrait progressif des mers associé à l'assèchement des lacs. Mais c'est un transformisme simpliste basé sur les ressemblances entre les animaux aquatiques et terrestres dont beaucoup de mammifères marins. Cette théorie est aussi une belle illustration de la prégnance magique de la métamorphose des poissons volants en oiseaux

« Il y a dans la mer des poissons¹⁹⁴ de presque toutes les figures des animaux terrestres, même des oiseaux. [...] que les poissons ailés et volans chassant ou étant chassés dans la mer, emportés du désir de la proie ou de la crainte de la mort, [...] soient tombés dans des roseaux ou dans des herbages, d'où ensuite il ne leur fut pas possible de reprendre vers la mer l'effort qui les en avoit tirés, et qu'en cet état ils ayent contracté une plus grande faculté de voler. Alors leurs nageoires n'étant plus baignées des eaux de la mer, se fendirent et se déjetterent par la sécheresse. [...] ou pour parler plus juste, les membranes qui auparavant les avoient tenus collés les uns aux autres, se métamorphosèrent. La barbe formée de ces pellicules déjetées s'allongea elle-même ; la peau de ces animaux se revêtit insensiblement d'un duvet de la même couleur dont elle étoit peinte, et ce duvet grandit. Les petits ailerons qu'ils avoient sous le ventre, et qui, comme leurs nageoires, leur avoient aidé à se promener dans la mer, devinrent des pieds, et leur servirent à marcher sur la terre. » (Maillet, 1755, vol. 2, sixième journée, pp. 165-167)

Il parle ainsi de « transmigration de l'eau à l'air » et appuie son raisonnement par de nombreux autres exemples. Cependant il est intéressant de repérer qu'il différencie une preuve directe empirique actuelle, la métamorphose d'une chenille en papillon, d'une preuve indirecte historique, beaucoup plus difficile à accepter. Il ajoute aussi la nécessité de raisonner sur une population de poissons volants accidentés dont deux rescapés suffisent pour perpétuer l'espèce sur la Terre « Que cent millions ayent péri sans avoir pû en contracter l'habitude, il suffit que deux y soient parvenus pour avoir donné lieu à l'espèce » (ibid., p. 169).

Ainsi entrer dans la construction d'une histoire paléontologique vraisemblable nécessite le passage d'un cap conceptuel ardu en lien avec une problématisation en géologie historique. En effet au-delà des notions fondamentales ignorées par les élèves et l'écrivain du siècle des Lumières -spéciation, strates, superposition- ce sont explicitement les méthodologies scientifiques pour les construire qui ne sont pas construites. En classe lors de la discussion sur l'origine aquatique des premiers êtres vivants, Maxime résiste contre de nombreux élèves de la classe qui mettent plusieurs fois en doute ses certitudes « Ben justement à l'aide de l'évolution, on sait d'abord que la vie elle était dans l'eau, on sait que les êtres vivants ils

¹⁹⁴ Selon le langage vernaculaire et même scientifique du XVIII^e siècle, il faut entendre par « poissons » l'ensemble des animaux aquatiques et non pas restreindre ce terme aux groupes de la classification contemporaine

avaient pas de pattes, on sait aussi que les êtres vivants végétaux sont arrivés » (Annexe 35, occurrence 75). Il finit toujours par se retrancher derrière un argument d'autorité issu d'un savoir reçu médiatisé « Ben c'est les scientifiques, ils savent. Moi j'en sais rien » (Annexe 35, occurrences 70, 79, et 222). Sauf en fin de discussion où il émet l'idée d'une hypothèse après l'intervention d'un élève qui présente autrement sa pensée « Oui mais Maxime, il ne dit pas que la Terre a évolué, il dit bien que la Terre a peut-être évolué ! Alors il se pose la question, c'est pas sûr » (Annexe 35, occurrence 260). Comme Claude en début du débat qui présentait l'idée d'un premier âge marin de la Terre comme une théorie (Annexe 35, occurrence 82). D'autres élèves prennent conscience de cette dualité de méthode, ce qui donne lieu à un des moments critiques les plus intéressants du débat de classe. Il existe donc un écart notoire entre la fonction épistémologique de l'argument avancé par l'élève et celle considérée par le scientifique. Nous pourrions assimiler cette difficulté commune -méconnaissance méthodologique et registre empirique faible- à un obstacle épistémologique au sens bachelardien que nous pourrions qualifier de **dogmatisme scientifique**. Il rejoint l'obstacle de la connaissance générale de Bachelard en arrêtant toute investigation par une « généralisation hâtive et facile » des savoirs savants vaguement approchés (Bachelard, 1938/2004, p 55/67). En effet ces connaissances théoriques apparaissent plaquées comme un trop plein de connaissances non construites «on connaît *contre* une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites» (ibid., p 14/15-16). Or les faits empiriques, les échantillons fossiles morcelés, tout comme leurs interprétations, sont eux aussi construits ; ils ne sont pas donnés contrairement à une synonymie utilisée couramment. Les élèves de primaire nous offraient d'emblée un obstacle centré sur l'actuel qui ne fera que se renforcer à l'adolescence et à l'âge adulte en se complexifiant ou en se masquant derrière un vocabulaire plus élaboré s'il n'est pas pris en charge dans des temps balisés d'apprentissage. La nécessité de construire un ancêtre commun hypothétique et le dissocier d'un fossile matériel est une difficulté à tous niveaux d'apprentissages de l'enseignement primaire, secondaire et même de la formation de futurs enseignants (Lhoste, 2007). L'apprentissage par problématisation et débat en sciences peut être une stratégie d'enseignement pour qu'au moins le savoir soit questionné, construit et non admis.

Cette étude didactique met en valeur certains objectifs d'apprentissage spécifiques des débats menés en sciences au vu des quatre produits repérés, les espaces-problèmes valorisant une architecture intellectuelle fondée sur le questionnement et les espaces de contraintes fondé sur une logique argumentative. Problématiser c'est argumenter en naviguant dans plusieurs registres et c'est se confronter à un ou plusieurs cadres épistémiques. C'est donc aussi lutter contre des obstacles majeurs de la pensée préscientifique. Le registre empirique des élèves doit être enrichi pour lever la fragilité des arguments avancés. Il doit aussi être clairement dissocié du registre des modèles explicatifs afin de pallier l'amalgame entre faits et explications chez les élèves. Leurs contraintes théoriques plaquées peuvent être transformées

en modèles explicatifs construits. Ainsi une argumentation logique peut être déployée en mettant en relation voire en tension des éléments d'un ou deux registres. Quand les registres empiriques et explicatifs atteignent leur limite de fonctionnalité dans le débat, problématiser pour les élèves c'est aussi prendre en charge un questionnement scientifique. Un problème posé, parfois associé à un obstacle épistémologique, pourra alors être approprié et développé en questionnement cognitif et méthodologique. Le registre explicatif transformiste et les obstacles associés démontrent un recours nécessaire à l'histoire des sciences pour approfondir l'origine logique des savoirs paléontologiques par une « enquête archéologique » (Foucault, 1966, p. 13). Le recul apporté par l'étude de cas historique suivante va permettre de mieux cerner le socle épistémologique de la paléontologie.

CHAPITRE 11 : UNE CONTROVERSE PALÉONTOLOGIQUE AU XIX^E SIÈCLE A PROPOS DE L'IDENTITÉ DES FOSSILES DE STONESFIELD A L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE PARIS

Avant d'analyser la controverse scientifique de 1838 qui nous intéresse, archivé par les comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris, nous devons d'abord faire une mise au point **des alternatives théoriques en 1830 en lien avec les concepts paléontologiques** importants, acquis dans cette première moitié du XIX^e siècle. Ce qui permettra d'éclairer la controverse ultérieure à propos des fossiles Didelphes, essentiellement entre de Blainville et Geoffroy Saint-Hilaire. Au préalable, nous mettrons ces deux auteurs en perspective avec les trois leaders de l'époque en paléontologie, Lamarck, Cuvier et Lyell. Tous ces théoriciens ont une conception différente de l'évolution du monde et c'est ce qui est en jeu principalement au-delà des fossiles de Didelphes. Grâce à eux les concepts actuels de fossile et de paléontologie sont posés à cette époque et **la confrontation est ouverte entre les données zoologiques et stratigraphiques**. Nous allons donc tout d'abord resituer les différentes positions des protagonistes de notre débat retenu dans le contexte d'une stratigraphie naissante et dans l'idée d'une progression des êtres vivants. En effet les nombreux écrits des paléontologues français et leurs échanges fréquents au sein de l'institution française ou avec leurs correspondants anglophones et allemands témoignent d'une communauté scientifique fortement mobilisée par les problèmes scientifiques et philosophiques en lien avec la paléontologie. La relation des fossiles avec les couches géologiques qui les renferment aboutit dans le plus récent dictionnaire d'histoire naturelle avant notre débat étudié à considérer « avec raison les corps organisés Fossiles comme les médailles qui servent à déterminer les époques géologiques » (Huot, 1835, Tome 3, p. 256). Mais en définitive la problématique, au cœur des débats de ce siècle, réside dans le lien entre la paléontologie stratigraphique et le renouvellement des faunes fossiles. Or la comparaison des êtres vivants fossiles et actuels ainsi que la détermination de leur degré de ressemblance ou de différence aboutissent à des théories opposées. Cette méthode comparative soulèvera pour les espèces fossiles archivées successivement dans les strates aux cours des temps géologiques, les questions d'espèces analogues ou identiques aux actuelles, d'espèces disparues ou actuelles modifiées.

11. 1 Naissance de la géologie historique au début du XIX^e siècle et les alternatives théoriques en 1830

11. 1.1 Le système de Lamarck a pu inspirer Geoffroy Saint-Hilaire

A partir de 1793, abandonnant sa carrière brillante de botaniste, Lamarck (1744-1829) accepta une chaire de zoologie au muséum d'histoire naturelle de Paris nouvellement créé par la Convention - celle des animaux sans vertèbres, tandis que Geoffroy Saint-Hilaire acceptait la chaire des animaux vertébrés-. Il entreprit un **travail immense de description et de classification des animaux invertébrés** en débutant par une étude approfondie des coquilles actuelles et des coquilles fossiles du bassin de Paris (Lamarck, 1802-1806). Dans son éloge, Cuvier lui reconnut, comme mérite principal de sa carrière, cette classification rigoureuse des coquilles et des polypiers (Cuvier, 1832). Fondateur de la paléontologie des invertébrés, Lamarck annonça l'intérêt stratigraphique d'un banc coquillier qu'il va étudier, affleurant près de Versailles –le gisement de Grignon contenait plus de six cents espèces de coquillages fossiles (ibid), près de Reims et en Angleterre

« on est porté à croire que les fossiles dont il s'agit appartiennent au même banc ; car à quelques espèces près, les coquilles de ces trois endroits sont toutes entièrement les mêmes [...] les coquilles et autres fossiles que renferme le banc dont il est question, sont d'une formation antérieure au dernier passage de la mer sur les contrées où ils existe » (Lamarck, an XI/1802-1806, p. 306).

Voici ébauché le concept de **fossiles caractéristiques d'une époque** dans l'histoire de la Terre. Dans un ouvrage contemporain il avait établi une chronologie relative entre des bancs coquilliers renfermant des coquilles du dernier séjour de la mer ou ceux antérieurs (1802b, pp. 85-86). Plus tard en 1821, ce fut Alexandre Brongniart (1770-1847), minéralogiste et collègue de Cuvier, qui démontra la priorité des caractéristiques zoologiques sur les caractéristiques pétrographiques dans les formations stratigraphiques au niveau européen : la formation crayeuse en divers points d'Europe et une formation calcaire noire et compact des Alpes renfermaient les mêmes coquilles (Gohau, 2002a, p. 329). Mais plus tardivement à partir de 1834, ce fut véritablement Alcide d'Orbigny (1802-1857) qui prit la suite des travaux de Lamarck sans pour autant adhérer à ses vues théoriques, bien au contraire en tant qu'élève de Cuvier, en archivant les invertébrés fossiles bien au-delà de l'Europe. Il conforta et précisa cette nouvelle paléontologie stratigraphique au niveau du globe pour servir d'indicateur fiable et universel pour repérer la suite des temps géologiques. Une diversité considérable d'invertébrés fossiles¹⁹⁵ permit l'archivage précis des strates par chronologie relative ainsi

¹⁹⁵Il fit tout d'abord un voyage missionné en Amérique du Sud (1826-1834) comme voyageur naturaliste du Muséum dirigé par Cuvier. Il rapporta une collection gigantesque parmi la plupart des groupes d'êtres vivants, 9000 espèces actuelles dont beaucoup encore inconnues (Vénec-Peyré, 2002, p. 317) ainsi que 150 espèces fossiles (Lauriat-Rage, 2002, p. 618). Ensuite concernant la paléontologie, la comparaison des fossiles de France et d'Amérique motiva sa curiosité car il discernait la sous-estimation des fossiles d'invertébrés pour résoudre l'énigme des temps géologiques. De ce fait, il avait entrepris de nombreuses prospections en France, systématiques de 1834 à 1840 puis effectuées jusqu'en 1855, pour enrichir initialement sa collection

que leur corrélation géographique même éloignée. Ainsi il aboutit à la démonstration inédite d'une succession similaire de faunes –au niveau des genres et parfois même des espèces– entre le continent américain et européen, séquence qu'il subdivise en sept époques –Silurien, Dévonien, Carbonifère, Trias, Jurassique, Crétacé et Tertiaire, dont l'époque diluvienne !– (Gohau, 2002a, p. 330).

De plus fondamentalement lors de ses recherches, Lamarck envisagea **le problème de variabilité d'une espèce** en cernant autrement ce concept

« J'ai long-temps pensé qu'il y avoit des *espèces* constantes dans la nature, et qu'elles étoient constituées par les individus qui appartiennent à chacune d'elles. Maintenant je suis convaincu que j'étois dans l'erreur à cet égard, et qu'il n'y a réellement dans la nature que des individus. [...] Or si, relativement aux êtres vivans, la diversité des circonstances amène pour eux une diversité d'habitude, un mode différent d'exister, et par suite des modifications dans leurs organes et dans les formes de leurs parties, on doit sentir qu'insensiblement tout corps vivant quelconque doit varier dans son organisation et dans ses formes. » (Lamarck, 1802b/1986, pp. 141-143/pp.97-98).

De plus par le biais d'une méthode dichotomique, il regroupa dans une même classification les espèces fossiles et les espèces vivantes qui appartiennent aux mêmes genres. Ce qui signifiait, pour lui, une diversité du vivant par ses formes passées et actuelles mais une même histoire réunissant les fossiles et les vivants (Lamarck, 1815-1822). Rappelons que J-B. Lamarck en 1801, d'une part, recadre la nature et l'origine des objets fossiles en arrêtant la définition actuelle du concept de fossile (Lamarck, an IX/1801, p. 403). Ils les appellent les « monumens des révolutions lentes de la surface de la terre » (Lamarck, 1802-1806, p. 303-304). Et d'autre part, il ouvre la discussion en s'appuyant sur les coquilles fossiles pour discréditer l'idée de leur disparition définitive en mettant en rapport les coquilles fossiles et vivantes

« on sentira que quoique beaucoup de coquilles fossiles soient différentes de toutes les coquilles marines connues, cela ne prouve nullement que les espèces de ces coquilles soient anéanties, mais seulement que ces espèces ont changé à la suite des temps [...] S'il y a, au contraire, quelque chose qui doive nous étonner, c'est de rencontrer parmi ces nombreuses dépouilles fossiles des corps qui ont été vivans, quelques-unes dont les analogues encore existans nous soient connus » (Lamarck., 1801, pp. 409-410).

Aux espèces perdues de Cuvier, il oppose **la notion d'espèces analogues**, telles les coquilles marines « de forme très rapprochée de coquilles des mêmes genres ». Ce qui prouverait une filiation entre les espèces passées et actuelles. Il est donc **continuiste et transformiste**. Les différentes conditions du milieu de vie expliquent ces variations

« toutes les modifications qu'il (l'être vivant) éprouvera dans son organisation et dans ses formes, par suite des circonstances qui auront influé sur cet être, se propageront par la génération, et qu'après une longue suite de siècle, non seulement il aura pu se former de nouvelles espèces, de nouveaux genres et même de nouveaux ordres » (Lamarck., 1801, p. 410)

paléontologique mais aussi pour chercher des réponses aux questions stratigraphiques –synchronisme des couches, variations latérales de faciès, lacunes de sédimentation, remaniement des couches– (Fischer & Lauriat-Rage, 2002). Son projet consista à réviser la classification hétérogène des fossiles –invertébrés et microfossiles– pour aboutir à une synthèse remarquable publiée en trois temps de 1840 à 1852 à partir de 2800 espèces d'invertébrés fossiles dont 2100 espèces nouvellement décrites (Vénec-Peyré, 2002)

Par rapport au monde environnant il est **actualiste** affirmé, car le monde physique globalement n'a pas changé. Il s'oppose clairement à la nécessité de causes catastrophiques conçues par Cuvier

« la catastrophe universelle dont il s'agit, n'est pas autrement prouvée ; tandis qu'il est possible de concevoir l'existence des fossiles au milieu de nos continents, par une cause plus dans la Nature, moins extraordinaire, et sans avoir recours à des suppositions qui ne sont étayées d'aucune vraisemblance. » (In P. Corsi (dir.), www.lamarck.net, Lamarck, 1802a, pp. 66-67).

L'alternance et l'épaisseur des couches fossilifères de coquilles littorales et pélagiennes, très bien conservées, leurs valves encore réunies même pour les plus délicates, permet de penser une durée immense de l'histoire de la Terre

« ils (les dépôts de coquilles marines fossiles) ne pouvaient être le résultat d'aucune catastrophe subite, comme l'ont avancé plusieurs naturalistes. Je fonde mon assertion sur ce qu'aucune autre cause qu'un long séjour de la mer, n'a pu donner lieu à l'existence de ces énormes bancs de coquilles fossiles qu'on trouve dans beaucoup de contrées de parties sèches du globe. En effet, il est aisé de concevoir qu'un long séjour de la mer dans un lieu quelconque a pu permettre par sa durée, à des générations infiniment multipliées d'animaux à coquille, de vivre dans cet endroit, et d'y déposer successivement leurs débris. On conçoit ensuite que ces débris, entassés continuellement, ont pu former ces bancs de coquilles, devenues fossiles après un laps de temps considérable, et dans lesquels il est souvent possible de distinguer différents lits. » (In P. Corsi (dir.), www.lamarck.net, Lamarck, 1802a, pp. 73-74).

Grâce aux coquilles fossiles, l'ancien séjour des mers est indubitable au milieu des continents et dans les montagnes. Et il conçoit des mouvements lents des mers qui se retirent et envahissent les terres selon un cycle

« on sent qu'elles (les mers) ne se sont retirées des lieux où elles se trouvoient, qu'en obéissant à une cause lente et toujours active, et que, par la continuité d'action de cette cause, il est probable que les parties maintenant découvertes du globe redeviendront par la suite des temps le fond même du bassin des mers, comme elles l'ont déjà été » (Lamarck, 1802-1806, p. 301).

De plus les fossiles d'Europe –de nautes, de palmiers, de fougères exotiques, d'éléphants et de crocodiles- apportent la preuve d'un « changement continu, quoiqu'infiniment lent » des climats. En parallèle, Lamarck envisage une direction pour les modifications des êtres vivants au cours du temps. Dans son système, **les mêmes séries animales**, linéaires puis ramifiées, se déroulent– des infusoires aux radiaires et des vers aux mammifères (Lamarck, 1809/1994, tableau p. 649). Et elles se reproduisent à partir de **générations spontanées** plus ou moins tardives dans le temps. Le progressivisme lamarckien est particulier car il se répète à l'infini comme si les séries animales étaient dirigées selon un patron général et automatique de complexification. Globalement Lamarck peut être qualifié de **stationnariste** puisqu'il conçoit un équilibre dynamique de son univers biologique et géologique.

« La *Nature*, cet ensemble immense d'êtres et de corps divers, dans toutes les parties duquel subsiste un cercle éternel de mouvements et de changements que des lois régissent ; ensemble seul immuable, tant qu'il plaira à son Sublime Auteur de le faire exister, doit être considérée comme un tout constitué par ses parties » (Lamarck, 1809/1994, p. 650).

Quels que soient les légers changements du milieu, les êtres vivants restent analogues, ils sont remplacés par des êtres vivants similaires.

Geoffroy Saint-Hilaire, jeune collègue proche de Lamarck au muséum, a pu s'inspirer des idées continuistes et transformistes fondant la théorie lamarckienne globalisante du vivant.

11. 1.2 Une partie des systèmes de Cuvier et de Lyell ont pu inspirer Blainville

Les espèces disparues dans le système de Cuvier

Dans la première moitié du XIX^e siècle les sites fossilifères et les échanges de fossiles se multiplient en France, en Europe et dans le monde. La prise de conscience de nouveaux animaux vertébrés, plus particulièrement des grands reptiles, s'enracine bien avant l'émergence du concept de Dinosauré donné par Owen en 1842 (Taquet, 1984). Cuvier (1769-1832) est la figure emblématique du concept d'espèce disparue qu'il construit peu à peu, dès sa jeunesse par ses études brillantes en Allemagne. Déjà la méthode de classification et la détermination de nouvelles espèces en botanique et en entomologie, le questionnent grâce à sa rencontre avec Kiemeier à la Karlsakademie (Taquet, 2001). C'est un naturaliste passionné qui, devenant enseignant en France, sera amené à comparer les deux systèmes éducatifs. Ses premiers pas dans l'enseignement en tant que précepteur dans une famille de la noblesse normande, à partir de 1788, lui permettent d'étudier la richesse floristique et faunistique de cette région. Il s'intéresse d'une façon approfondie et systématique à de nombreux groupes d'êtres vivants, Plantes, Mollusques, Insectes, Poissons, Crustacés, Oiseaux, etc (Taquet, 2006a). Récoltes, herborisations, dissections, déterminations, lectures d'ouvrages de naturalistes tels Aristote, Linné ou Réaumur, occupent son temps loin des troubles de la révolution française¹⁹⁶. Sa réflexion est soutenue sur les logiques de rapprochement ou de différenciation des êtres vivants dans des groupements. Les outils méthodologiques de l'anatomie comparée sont puisés, en définitive, dans cette jeunesse studieuse. Juste un an après avoir été nommé au Muséum d'histoire naturelle de Paris en 1795, Cuvier initie un programme¹⁹⁷ ambitieux d'investigation, **l'archivage des ossements de vertébrés fossiles**. Par complémentarité à Lamarck, Cuvier va accentuer toutes ses recherches paléontologiques

¹⁹⁶ Le contraste est marqué entre les préoccupations du jeune Cuvier et les émeutes parisiennes liées au bouleversement politique en France « Tandis que Cuvier classe les Ichneumons et dissèque les Cloportes, tandis qu'il s'interroge sur la définition du genre et de l'espèce, les représentants français du « genre humain » écrivent en France les pages les plus marquantes de leur histoire » (Taquet, 2006a, p. 340).

¹⁹⁷ Cuvier présente en 1796 à l'Académie des sciences son premier mémoire de paléontologie portant sur la comparaison d'ossements d'éléphants vivants et fossiles, objets de controverses au XVIII^e siècle. Il mit fin à l'interprétation d'ossements de géants humains et conjectura pour des ossements de mastodonte et de mammoth, espèces différentes des proboscidiens actuels et espèces probablement disparues. Son programme fut annoncé la même année dans une revue le *Magasin encyclopédique* (Buffetaut, 2000, p. 21). Plusieurs rapports non datés témoignent des premières recherches en France par Cuvier sur les ossements d'hippopotames, d'hyènes, de crocodiles (Le Havre et Honfleur), d'ossements semblables au Paleothérium ainsi que des vertébrés fossiles découverts par l'abbé Croizet au Puy de Dôme. L'ensemble de ces investigations est finalisé dans un premier ouvrage paru en 1812 *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes*. Paris : Déterville.

dans le groupe des vertébrés, suite à son succès d'identification des proboscidiens fossiles disparus grâce aux riches collections zoologiques du Muséum d'histoire naturelle de Paris dont il disposait. Cuvier ensuite secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Paris et titulaire de la chaire d'anatomie comparée au Muséum -de 1802 à sa mort- se mobilisa pour une recherche qu'il voulut exhaustive au point qu'il assurait avoir « déterminé et classé les restes de plus de cent cinquante mammifères ou quadrupèdes ovipares » pour la sortie de son premier ouvrage de synthèse en 1812 (Buffetaut, 2000, p. 25). L'avantage indéniable du squelette des vertébrés était d'offrir à la fois une unité de plan d'organisation et une diversité spécifique favorisant une comparaison anatomique précise. Cuvier justifiait ainsi le choix de son objet d'étude, les grands quadrupèdes fossiles terrestres devant enregistrer les révolutions du globe « les irrptions répétées de la mer » avec plus de fiabilité que les coquilles marines : leur fossilisation témoigne avec certitude d'un déplacement des mers et la diversité des espèces actuelles est bien cernée, étudiée depuis l'antiquité et explorée sur tous les continents (Cuvier, 1834/1999). La rigueur de la méthode comparative en anatomie appliquée aux fossiles de vertébrés et sa loi de subordination des organes lui avaient permis d'enchaîner de triomphales déterminations qui firent sa renommée. Il les valide par des dénominations nouvelles liées à leur étrange anatomie, différente et plus ou moins proche des animaux actuels, et donc appartenant à des animaux disparus : en 1796, le *Megatherium americanum* ou « grand animal » – paresseux d'Argentine découvert en 1788- ; en 1801, le Ptérodactyle ou « doigt-ailé » -reptile volant découvert en 1784 à Solenhofen- ; en 1808, le *Mosasaurus* – varan découvert vers 1770 à Maastricht- (Buffetaut, 2000, pp. 22-24). Des fouilles paléontologiques organisées au début du XIX^e siècle par Cuvier dans les carrières exploitées du gypse de Montmartre découvrent encore de nouvelles espèces inconnues de mammifères telles le *Paleotherium* et la Sarigue –respectivement un herbivore périssodactyle et un petit carnivore. Des reconstitutions iconographiques accompagnent toutes ses nomenclatures descriptives d'une nouvelle classification dans la seconde édition de 1821-1824. Grâce à l'immense collection du cabinet d'anatomie qu'il créa – la plus riche d'Europe à cette époque- et qui fut « l'un de ses plus beaux titres de gloire »-, Cuvier réforma le système de classification zoologique par l'application d'une méthode rigoureuse en anatomie comparée, appuyée par deux principes. En premier, la subordination des caractères permit de diviser les classes en ordres, genres et familles et de discuter d'une façon critique les espèces « le fait de l'organisation le plus général, le plus constant, doit déterminer les grandes divisions, et les faits moins généraux et plus variables, les divisions secondaires » (Laurillard, 1834, p. 13). En second, la corrélation des formes entre les parties au sein de l'organisation d'un même vivant permit la détermination à partir même de restes partiels. Ainsi sa méthode comparative transposée sur les fossiles découverts incomplets, il démontra donc le **concept d'animaux disparus** d'une façon magistrale à partir de nombreux exemples paléontologiques différents des espèces actuelles -168 espèces reconnues appartenant à environ 50 genres dont 15 au

moins nouveaux, le nombre d'espèces perdues serait pressenti plus grand que le nombre d'espèces vivantes- (Laurillard, 1834, p. 57). Il validait ainsi scientifiquement le concept « des anciens mondes », avancé par Buffon le siècle précédent, autre génie de la science des classifications zoologiques auquel Cuvier est comparé avec Linné et Aristote. Cuvier fut fortement influencé par toutes ces reconstitutions d'animaux vertébrés disparus pour valider une thèse catastrophiste des « révolutions à la surface du globe ».

Ainsi par opposition à Lamarck, Cuvier peut être qualifié de **catastrophiste ou discontinuiste**. En accordant une grande importance au registre empirique, Cuvier établit la preuve de ces « révolutions à la surface du globe » par les couches obliques et la **succession discontinue de l'enregistrement des fossiles**

« Les déchirements, les redressements, les renversements des couches plus anciennes ne laissent pas douter que des causes subites et violentes ne les aient mises en l'état où nous les voyons [...] La vie a donc souvent été troublée sur cette terre par des événements effroyables. Des êtres vivants sans nombre ont été victimes de ces catastrophes. [...] Ces grands et terribles événements sont clairement empreints partout pour l'œil qui sait en lire l'histoire dans leurs monumens » Cuvier, 1825/1985, pp. 42-43).

Concernant les corps organisés, la recherche de lois générales et tout aussi invariables que les lois physiques, en particulier astronomiques qui servaient de modèles aux savants, était la préoccupation majeure des naturalistes du XIX^e siècle pour cerner la connaissance des espèces vivantes et disparues. Cuvier lui-même reconnaissait l'intérêt de l'ensemble de ces études dans ce sens, admettant que le seul point d'accord entre les naturalistes grâce à l'étude des fossiles était que « la mer a changé de place ». Il avait comme objectif principal de chercher les rapports entre les espèces vivantes et fossiles, entre la diversité des êtres organisés et les couches géologiques en exploitant toute la faune des fossiles vertébrés et invertébrés

« Ce qui est le plus important, ce qui fait même l'objet le plus essentiel de tout mon travail, et établit sa véritable relation avec la théorie de la terre, c'est de savoir dans quelles couches on trouve chaque espèce, et s'il y a quelques lois générales relatives, soit aux subdivisions zoologiques, soit au plus ou moins de ressemblance des espèces avec celles d'aujourd'hui. Les lois reconnues à cet égard sont très-belles et très claires [...] Ainsi comme il est raisonnable de croire que les coquilles et les poissons n'existaient pas à l'époque de la formation des terrains primordiaux, l'on doit croire aussi que les quadrupèdes ovipares ont commencé avec les poissons, et dès les premiers temps qui ont produit des terrains secondaires ; mais que les quadrupèdes terrestres ne sont venus, du moins en nombre considérables, que long-temps après, et lorsque les calcaires grossiers qui contiennent déjà la plupart de nos genres de coquilles, quoiqu'en espèces différentes des nôtres, eurent été déposés » (Cuvier, 1834, vol.1, p. 190 et p. 193 /1999, pp. 74-75).

Il envisageait donc un progrès des faunes dû au rapport entre le monde organique et le monde physique qui a changé, mémorisé respectivement par la paléontologie et la lithologie. Le monde minéral a influencé le monde vivant en provoquant des catastrophes successives. En ce sens les écrits de Jean-André Deluc (1727-1817) aurait grandement influencé le *Discours* de Cuvier « Nous voyons aussi de part et d'autre des progrès de *changement* : à l'égard des *couches*, c'est la production successive de *couches* d'espèces différentes ; et chez les *êtres organisés*, ce sont des *changements successifs* dans leurs apparences » (Ellenberger & Gohau, 1981, citant De Luc, 1798, 7^e lettre à Blumenbach, p. 383). La double histoire collatérale des

strates et des corps organisés fossiles est un apport théorique fondamental que reprendra Cuvier

« On comprend qu’au milieu de telles variations dans la nature du liquide, les animaux qu’il nourrissait ne pouvait demeurer les mêmes. [...] il est vrai de dire, en général, que les coquilles des couches anciennes ont des formes qui leur sont propres ; qu’elles disparaissent graduellement, pour ne plus se montrer dans les couches récentes, encore moins dans les mers actuelles, où l’on ne découvre jamais leurs analogues d’espèces, où plusieurs de leurs genres d’espèces ne se retrouvent pas [...] et ces variations ont conduit par degré les classes des animaux à leur état actuel » (Cuvier, 1825/1985, p. 40).

Cuvier est donc catégoriquement opposé à l’idée d’espèces analogues passées et actuelles. Sous l’autorité de Cuvier cette **loi de progression des faunes fossiles** était consensuelle en France d’après l’éloge très flatteur de Laurillard (1783-1853), conservateur du cabinet d’anatomie du Muséum d’histoire naturelle de Paris et dessinateur attitré de Cuvier (Laurillard, 1834). Il confirme l’adhésion de Cuvier et des naturalistes à une loi de progression des faunes fossiles pour laquelle celui-ci avait accumulé suffisamment de preuves convaincantes par le biais des lois d’anatomie comparée

«les différences qui existent entre les animaux fossiles et les animaux vivans augmentent en raison de l’âge des couches qui les recèlent, de sorte qu’un exposé de ces différences deviendrait une espèce de tableau chronologique des terrains. [...] Tous les êtres organisés n’ont pas été créés ensemble ; les végétaux semblent avoir précédé les animaux ; les mollusques et les poissons ont paru avant les reptiles, et ceux-ci avant les mammifères. Les espèces qui formaient les anciennes populations ont été détruites et remplacées par d’autres [...] lois de coexistence dans les êtres organisés, lois d’harmonie entre toutes les parties d’un être [...] le principe de la corrélation des formes appliqué à la zoologie générale, a perfectionné sa classification, et qu’appliqué à la zoologie souterraine il a donné au globe une histoire, à la géologie un point d’appui » (Laurillard, 1834, p. 19, p. 33 et p. 65).

En conséquence de ces successions d’animaux disparus et de cette loi de progression, reste à expliquer le problème du renouvellement des faunes à chaque époque. Le **catastrophisme de Cuvier soulève le problème de corrélation avec une pensée créationniste**. Tout d’abord, il se défend d’envisager plusieurs créations (Cuvier, 1834/1999, p. 86). Accusé de panthéiste¹⁹⁸ s’il proposait des créations multiples, Cuvier préfère finalement évoquer l’idée de migrations mais celles-ci sont en contradiction avec les cataclysmes de sa théorie qui exterminaient les faunes disparues (Ellenberger & Gohau, 1981, p. 254). Notons, aussi, qu’en tant qu’administrateur de l’enseignement public il préconise, dès 1807, la séparation de celui-ci avec les enseignements religieux. Il lutte contre « ceux qui voudraient faire croire que l’esprit des sciences est contraire à celui de la religion » en avançant les noms de physiciens célèbres qui ont su faire la part entre les sciences et leur religion (Taquet, 2001, p. 201). Ainsi serions-nous d’accord pour invalider la caricature faite de la pensée de Cuvier « trop ligoté dans son fixisme et son catastrophisme par idéologie religieuse » (Gohau, 1990b, p. 13).

Plus tard Alcide d’Orbigny amplifiera le système catastrophiste de Cuvier et l’accompagnera d’autant de créations que de niveaux stratigraphiques identifiés par les faunes fossiles

¹⁹⁸ Cuvier devait certainement rechercher une cohérence de son système géologique avec la religion catholique institutionnelle. Du fait de ses hautes fonctions administratives et de son statut de protestant, il devait user de diplomatie pour ne pas offrir des arguments à la critique.

caractéristiques. Le recueil de toutes ses prospections est classé par ordre stratigraphique affiné jusqu'à 27 étages dans son *Prodrome de paléontologie* en 1850 (Lauriat-Rage, 2002, p. 622).

L'actualisme dans le système de Lyell

Charles Lyell (1797-1875), géologue écossais et élève du célèbre géologue William Buckland (1784-1856) à Oxford, proposa dans les années 1830 une théorie, encore différente de celles de Lamarck et Cuvier, sur les changements physiques et biologiques opérés à la surface de la Terre dans son fameux ouvrage *Principles of Geology* (Lyell, 1830, Tome 1)¹⁹⁹. Peut-être influencé par Constant Prévost lors de leurs rencontres en 1823 -1824, Lyell fut convaincu de l'idée des causes réelles uniformes, lentes et continues -selon le sens de « actual or natural causes »- qui opérèrent à la surface du globe sur une immense durée. Le monde physique est stable pour Lyell. Il est **actualiste et s'oppose au catastrophisme** de Cuvier, qu'il rencontra à Paris en 1823 lorsqu'il commença l'exploration des sites géologiques français et italiens. Les coupures stratigraphiques s'expliquent par l'irrégularité de sédimentation en divers points du globe et non par des catastrophes. Voici ce qu'il veut démontrer en s'appuyant sur les terrains de l'Éocène :

« il existe un si grand nombre d'espèces communes aux groupes qui, dans l'ordre de superposition, se suivent immédiatement, qu'il y a tout lieu de croire que non-seulement la série des êtres organisés n'offre aucune lacune considérable, mais qu'en outre, nulle crise ne s'est jamais manifestée [...] l'extinction et la création des espèces n'ont jamais été, et ne sont encore à présent que le résultat d'un changement lent et graduel dans le monde organique » (Lyell, 1840 éd. anglaise/1843, vol.1, Chap. XI, pp. 457).

En parallèle d'un monde physique stable la logique de Lyell se caractérise par **une histoire cyclique de la vie**. L'histoire de la vie est stationnaire entre les faunes passée et actuelles. Il est donc aussi **stationnariste** puisque le monde vivant est stable –ou du moins de variation uniforme-, conditionné par un environnement permanent. Car les espèces actuelles sont bien différentes des espèces passées mais il raisonne d'une façon globale. Sa démonstration mathématique²⁰⁰ fut remarquable à partir des statistiques effectuées sur des mollusques

¹⁹⁹ Lyell retravailla toute sa vie cet ouvrage fondamental ouvrant une nouvelle voie en géologie. Il parut initialement en trois tomes dans la première édition (1830-1833). Douze éditions revues et corrigées parurent entre 1830 et 1865. L'édition française de 1843-1848 (4 vol.) correspond à la traduction de sa sixième édition, parue en juin 1840 pour le volume 1 (Wilson, 1973). Nous aurions aimé travailler sur la cinquième édition originale anglaise publiée en 1837, année qui précède la controverse historique que nous allons étudier précisément. Malheureusement nous n'avons pu consulter que la troisième édition de 1835 au plus près de l'époque qui nous intéresse.

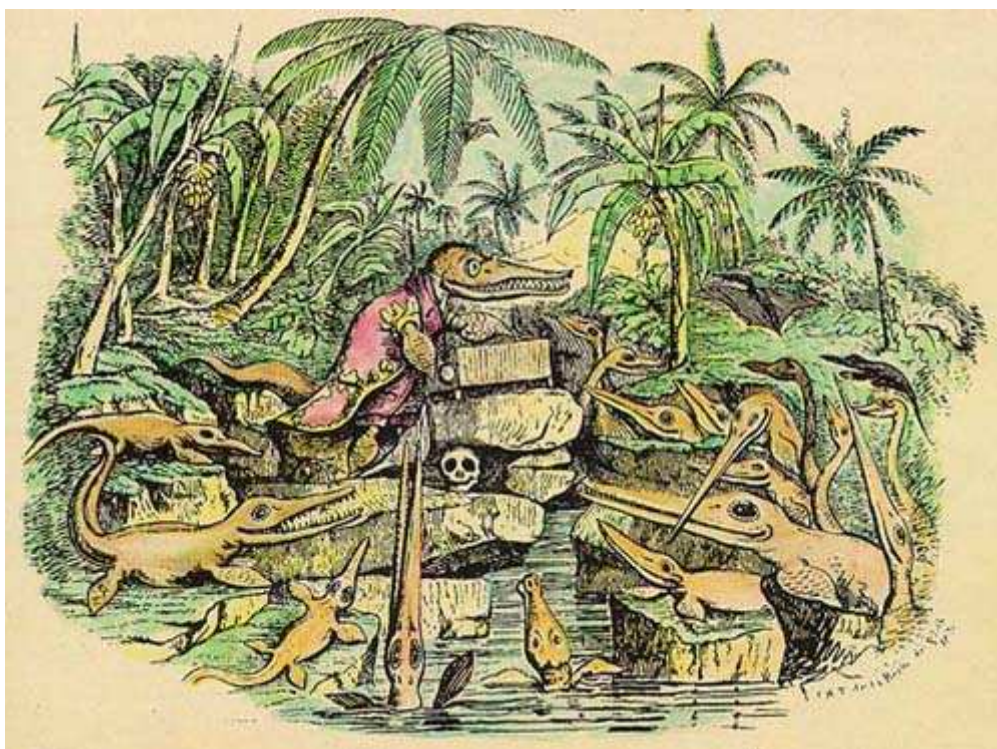
²⁰⁰ Son but était de résoudre le « véritable casse-tête stratigraphique » que représentait le Tertiaire, stratifications irrégulières et lenticulaires empêchant le repérage chronologique classique par superposition (Gould, 1990, p. 249). Cette méthode ingénieuse lui permit de différencier ainsi quatre époques dont la terminologie est toujours utilisée aujourd'hui dans l'échelle stratigraphique : « environ trois pour cent des espèces actuelles de mollusques vivaient à l'éocène, vingt pour cent au miocène, plus du tiers et souvent plus de la moitié au pliocène ancien, et à peu près quatre-vingt-dix pour cent au pliocène » (Gould, 1990, p.257 et fig. pp. 260-261)

fossiles du Tertiaire avec l'aide des compétences de son ami taxonomiste français Deshayes en 1831 -40000 individus fossiles furent répertoriés- (Bourdier, 1960 b, p. 886). Le pourcentage de coquilles fossiles, semblables aux espèces actuelles, croît en fonction de l'âge des strates les plus récentes mais globalement la même diversité est conservée à chaque époque (Lyell, 1833, tome 3). Puisque les conditions de vie n'ont pas changé depuis le permien, il est possible d'avoir des êtres semblables, des espèces voisines. Des créations d'espèces analogues succèdent aux disparitions d'espèces par volcanisme, séisme ou métamorphisme. A tel point qu'il envisage même, d'une façon fantastique à nos yeux, la réapparition possible des grands reptiles du secondaire. Voici le « passage le plus stupéfiant de tous les *Principles* » (Gould, 1990, p. 226)

« Alors pourraient réapparaître ces genres d'animaux dont les roches anciennes de nos continents ont conservé la mémoire. L'énorme iguanodon pourrait revenir dans les forêts, l'ichtyosaure dans la mer, et le ptérodactyle voler de nouveau dans l'ombre des bocages de cyathacées » (Lyell, 1830, tome 1, p. 123)

Une caricature lithographique peinte par le géologue Henry Thomas De la Bèche est représentative du système de pensée de Lyell qui ne faisait sans doute pas l'unanimité des géologues britanniques.

Iconographie N° 12 : **Lithographie d'un cours futuriste peint par De la Bèche - 1830** -« Awful changes- Reapparition of ichthyosaurs » (Stupéfiants changements)



Légende : « You will at once perceive » continued Professor Ichthyosaurus « that the skull before us belonged to some of the lower order of animals ; the teeth are very insignificant, the power of the jaws trifling, and altogether it seems wonderful how the creature could have procured food²⁰¹ »

Un ichtyosaure professe un cours sur l'espèce humaine à partir d'un crâne fossile, espèce éteinte au moment où le « professeur » dispense son cours à ses congénères, des ichtyosaures et des plésiosaures. La légende indique que le crâne appartient à une espèce d'ordre inférieur, notre espèce humaine qui n'existe plus. Sur le mode de l'ironie, il fait part de l'observation de dents de très petites tailles, des mâchoires insignifiantes, ce qui rend miraculeux la possibilité qu'avait cette espèce pour se procurer de la nourriture. Le renversement des conceptions de l'époque encore d'actualité est humoristique. Du point de vue temporel ce sont les reptiles du secondaire qui ont disparu et sur lesquels les paléontologues se questionnent. Du point de vue idéologique la supériorité de l'homme reste ancrée dans les représentations progressionnistes et finalistes. Frank Buckland, le fils de William Buckland, pensait que le professeur ichthyosaurus représentait amicalement son père, le révérend donnant une leçon de géologie à Oxford à propos des ichtyosaures « une race aujourd'hui éteinte de lézards ressemblant à des

²⁰¹ Cette iconographie est extraite du site internet [http : //eee.uci.edu/clients/bjbecker/RevoltingIdeas](http://eee.uci.edu/clients/bjbecker/RevoltingIdeas)

La lithographie du Professeur Ichtyosaurus est discutée par Stephen J. Gould (1990, pp. 162-166) mais manque dans l'édition française de son livre malgré la référence faite p.163. Elle a été rendue célèbre par le fils de W. Buckland qui l'a publiée en première page des *Curiosities of Natural History* (1874, p. VII) que Gould possédait dans sa bibliothèque.

poissons » (Gould, 1990, p. 164). Alors que Martin J.S. Rudwick et Stephen Jay Gould interprètent plutôt le « professeur Ichthyosaurus » comme étant Charles Lyell. Un faisceau d'indices convergent vers cette seconde conjecture : la sortie du livre *Principles of Geology* la même année que la date figurant sur la lithographie, les idées controversées de Lyell, élève de Buckland, dans ce même ouvrage sur la réapparition des espèces disparues telles les iguanodons, les ptérodactyles et les ichtyosaures, et le brouillon de cette même lithographie dans une série de croquis satiriques dessinés par La Bèche et retrouvés au dos d'un carnet d'observations géologiques datant de 1830-1831. L'extrait cité ci-dessus des *Principles* et cette caricature faite par La Bèche déterminent bien le système géologique de Lyell, un **état dynamique continu** à l'échelle du globe terrestre maintenant un **état d'équilibre constant** de l'ensemble des êtres vivants peuplant la Terre. Si les espèces meurent elles sont remplacées par des néocréations équivalentes.

Dans la pensée de Lyell il n'y a pas de direction, ni de progrès à déceler dans les faunes anciennes. Apparitions et disparitions de nouvelles espèces s'équilibrent. Cette conception d'un **temps cyclique s'oppose au temps sagittal** (Gould, 1990). Lyell est **anti-progressionniste** et défend l'idée d'un progrès apparent liés aux lacunes de fossilisation. La « théorie du développement progressif de la vie organique à diverses époques géologiques successives » ne serait qu'une illusion. Il la réfute entièrement d'autant plus avec les récentes découvertes de Stonesfield « The occurrence of one individual of the higher classes of mammalia, whether marine or terrestrial, in these ancient strata, is as fatal to the theory of successive development as if several hundreds has been discovered » (Lyell, 1835, Tome 1, chap. IX, p. 224). La force d'une seule preuve positive est mise en avant. Lyell anticipe même que les recherches paléontologiques ultérieures devraient permettre de découvrir des fossiles de mammifères dans le paléozoïque. Donc Lyell s'oppose à Cuvier par une conception anti-catastrophiste et anti-progressionniste (1843, vol. 1, chap. VI, IX et XI). Finalement nous pourrions avancer peut-être qu'il est partisan de « révolutions » de la vie, dans le sens d'un retour périodique et non d'un bouleversement. Et il conteste aussi la théorie lamarckienne par une conception anti-transformiste car les espèces disparues vont en l'encontre de l'idée d'une adaptation (1848 éd. française, vol.4 chap. I et IV). Sa notoriété fut telle qu'il fut président de la Société géologique de Londres de 1834 à 1836 et son influence sur les paléontologues britanniques fut certainement importante.

Ainsi jusqu'à la fin du XVIII^e siècle les savants tentent d'affilier chaque fossile à son analogue actuel sans le rattacher systématiquement à son environnement stratigraphique. L'étude précurseur de Lavoisier, effectuée en 1789 à partir des données minéralogiques empiriques de Guettard de sa région d'Étampes, reste une exception (Ellenberger, 1989). Or l'appropriation d'un temps long mémorisé dans les strates successives et la gigantesque paléothèque constituée par la communauté européenne finissent par générer chez la plupart des paléontologues **un principe de perfectionnement des formes vivantes, intégré dans**

une longue histoire de notre planète. Un des premiers savants à expliciter un cadre progressionniste fut, peut-être, le zoologiste allemand Johann-Gottfried Bremser (1767-1827) en 1810 dont l'ouvrage fut traduit en français en 1824 et commenté par Blainville (Gohau, 2003, p. 100). Lyell se réfère à un célèbre chimiste H. Davy²⁰² (1778-1829) en vue de le réfuter (Lyell, 1843, vol. 1, p.361). En effet le croisement de ces deux travaux gigantesques du XIX^e siècle, reconstitutions de grands vertébrés disparus et la chronologie relative des couches par les invertébrés, permet de **dater précisément les faunes de vertébrés fossiles grâce à l'énorme rocheux contenant une faune d'invertébrés fossiles.** Les fossiles de vertébrés sont associés généralement avec des coquilles d'eaux douces ou marines. En fait tous les grands groupes d'invertébrés commençaient d'être répertoriés dans tous les terrains fossilifères depuis les plus anciens connus de l'époque, le silurien. Ils apparaissaient sous des formes d'emblée complexes, ce qui allait d'ailleurs à l'encontre d'une paléontologie évolutive. De plus, contrairement aux vertébrés, les structures simples des invertébrés conservés rendaient difficile une comparaison anatomique approfondie. Ce qui explique que la paléontologie évolutive et ses débats connexes ne pouvaient se dérouler qu'à partir de l'étude de fossiles de vertébrés et non pas de ceux des invertébrés. Sans être aussi détaillée que celle construite par Alcide d'Orbigny –à qui nous devons donc la division d'étage stratigraphique-, une échelle des temps géologiques et paléontologiques se profilait déjà en 1835. C'est donc la recherche de ces grandes lois qui fut l'objet de la plupart des grandes controverses nombreuses et préliminaires à la controverse paléontologique de 1838 que nous allons étudier. La paléontologie stratigraphique uniformitariste allait s'affronter à la paléontologie évolutive.

²⁰² Davy, H. (1831) *Consolations in travel, or, The last days of a philosopher* (3^e édition, chap III The Unknown). London : J Murray,. C'est l'ouvrage le plus renommé qu'il ait écrit. Sous forme de dialogue, cette méditation sur la science, la métaphysique et la théologie fut publiée après sa mort à Genève. <http://histoirechimie.free.fr>

11. 1.3 Des controverses multiples antérieures à 1838 mettant en lien la paléontologie avec d'autres disciplines, la zoologie et l'embryologie : Cuvier et Blainville contre Geoffroy Saint-Hilaire

A la recherche d'une loi zoologique et paléontologique : le cas des « crocodiliens » de Caen et le concept d'échelon intermédiaire

Geoffroy Saint-Hilaire démontra en 1818 que les squelettes des vertébrés sont organisés sur le même modèle de connexions –positions, relations et dépendances des parties-²⁰³. Tous ses travaux convergent vers **la recherche d'une loi universelle d'organisation analogique du monde organique**. Allant plus avant dans sa théorie il veut l'étendre aux autres embranchements : il rechercha d'abord le lien unitaire entre les vertébrés et les articulés en 1820, puis entre les vertébrés et les mollusques ce qui déclencha la célèbre controverse de 1830 (Piveteau, 1950). Si Cuvier, admettait au sein du groupe des vertébrés cette conception synthétique d'un plan unique qu'il évoquait aussi en 1812, il s'opposait fortement à un plan unique pour l'ensemble du monde vivant. Il défendait les quatre grands types de plan ou embranchements séparés –vertébrés, articulés, mollusques et rayonnés-. Analogie ou identité, ressemblance ou différence, principes de corrélation fonctionnelle ou de connexion anatomique étaient les points de discussions.

Les nombreuses découvertes paléontologiques allaient conforter Geoffroy dans ses idées d'unité des vivants. Plus que la controverse de 1830 basée sur la zoologie, nous retenons celle non moins essentielle de 1825 basée sur les rapports entre les espèces actuelles et fossiles, autrement dit la « zoologie fossile » ou paléontologie. Elle opposa Etienne Geoffroy Saint-Hilaire et Georges Cuvier **à propos des fossiles de grands vertébrés, les « crocodiliens » de la région de Caen**. Dès 1799 Cuvier avait écrit un article à propos d'«une nouvelle espèce de Crocodile fossile » ; en 1808 il parle d'« espèces de crocodiles inconnus » ; et en 1812 il publie sur des « os de crocodiles inconnus proches du Gavial » dans la *Recherche sur les ossements fossiles* (Taquet, 1984). La question de la logique de rapprochement ou de différenciation des espèces fossiles avec les espèces actuelles est lancée. Cette négociation constitue le nœud des problématiques à venir. A l'interprétation première de Cuvier pour des gavials fossiles est opposée l'interprétation seconde de Saint-Hilaire pour un genre fossile nouveau, intermédiaire entre les reptiles et les mammifères qu'il nomme pour cela *Teleosaurus*. Ce nom signifie l'origine lointaine des mammifères à partir des grands lézards du jurassique (Bourdier, 1960, p. 31). Geoffroy avait observé nombre de crocodiles vivants et momifiés en Egypte (1798-1802) et spécialiste de ce groupe, il est sûr de ses déductions.

²⁰³ 1818, *Philosophie anatomique*. Cet ouvrage s'appuie sur des observations antérieures parues dans les *Annales du Muséum d'Histoire naturelle* en 1807 : Considérations sur les pièces de la tête osseuse des animaux vertébrés et particulièrement sur celle du crâne des oiseaux, Tome 5

D'ailleurs il avait été virulent dans ses mémoires sur les sauriens à l'encontre de Cuvier, « le savant positif qui ne sort jamais des travaux oculaires et descriptifs ». Ce à quoi Cuvier répliquait que l'idée d'unité de composition « n'a de réalité que dans l'imagination de quelques naturalistes, plus poètes qu'observateurs » (Bourdier, 1959, pp. 889-890). La lutte intellectuelle est enclenchée entre une vision fixiste et une vision transformiste qui est inspirée de la chaîne des êtres organisés de Lamarck. La théorie lamarckienne a évolué : en 1802 il conçoit une complexification graduelle de lignées séparées d'êtres vivants à partir d'êtres primitifs, des animalcules issus de générations spontanées en des temps différés ; en 1809 les chaînes se ramifient pour donner un seul arbre généalogique commun à l'ensemble du règne animal (Lamarck, 1809/1994, p. 649). La conception d'une origine unique sans l'intervention divine sert de toile de fond à ce débat engagé. La théorie de Lamarck est avant tout une théorie globale des vivants actuels. En effet les fossiles n'ayant pas d'analogues actuels lui posaient problème car ils ne pouvaient pas être intégrés dans ses lignées transformistes continues et provisoires selon son patron automatique de complexification. Les fossiles d'espèces disparues ne pouvaient pas entrer dans la logique stationnariste de Lamarck. Il affirme donc la possibilité de fossiles littoraux et de fossiles pélagiens dont l'homme n'a encore pas découvert les analogues vivants dans de trop grandes profondeurs marines

« A la vérité, comme on n'a pas de preuve que tous les fossiles que je viens de nommer, appartiennent à des animaux qui vivent habituellement dans les grandes profondeurs des mers, quelques naturalistes se plaisent à repousser l'idée de l'existence des coquilles pélagiennes, et selon eux les animaux des bélemnites, des ammonites, des orthocératites, etc. n'existent plus dans la Nature.[...] On sent bien que tous les êtres vivants qui habitent dans les grandes profondeurs des mers, doivent être difficilement connus de l'homme, qui n'est pas à portée de pouvoir les observer ; mais en nier l'existence par ce motif, c'est ce que je ne crois pas raisonnable sur nos côtes de la Manche, les rochers sont lardés de grylphites, de *cornes d'ammon* (d'ammonites) et de quelques autres coquilles qu'on sait n'habiter que les grandes profondeurs de la mer. » (In P. Corsi (dir.), www.lamarck.net, Lamarck, 1802a, p. 71 et p. 85)

Mais il ne se situe pas par rapport aux grands vertébrés terrestres ! C'est Geoffroy Saint-Hilaire, disciple de Lamarck et de son échelle des êtres, qui compara le squelette des vertébrés fossiles d'animaux disparus à celui des vivants actuels. Une idée centrale était d'envisager que certains fossiles constituaient des transitions ou chaînons manquants (Bourdier, 1960, p. 28). Outre le Teleosaurus, nombreux sont les cas particuliers de fossiles que Geoffroy Saint-Hilaire considérait de la sorte comme le « témoignage d'autant d'anneaux en série progressive et d'une filiation enchaînée » (Bourdier, 1967, p.15). En 1795 les tarsiers seraient le « chaînon qui unit les quadrumanes aux chiroptères » –dans un mémoire cosigné avec Cuvier !-. En 1831 le Steneosaurus –ex-gavial d'Honfleur de Cuvier- serait l'intermédiaire entre les teleosauriens, issus des ichtyosaures, et les crocodiliens. En 1833, il découvre deux fossiles en Auvergne : le « dremotherium, intermédiaire entre le porte-musc et les chevrotains forme un anneau de liaison dans la chaîne des êtres » et le Steneofiber jugé intermédiaire entre le castor et l'ondatra –appelé aussi rat musqué de son nom vernaculaire- (ibid., p. 14). En 1838 lors de sa dernière intervention à l'Académie des sciences, il fait part d'une nouvelle découverte

fossile dans le Jurassique à Caen qui l'enthousiasme, un nouveau grand saurien, le *Poekilopleuron bucklandii*, « intermédiaire entre les crocodiles et les lézards »²⁰⁴ (ibid., p. 17). Nous pouvons signaler que Geoffroy ne se laisse pas emporter d'une façon inconsidérée par cette théorie de l'échelle des êtres. Car il récusé la position d'intermédiaire entre les pachydermes et les ruminants pour le *Sivatherium* d'Himalaya- sur lequel nous reviendrons ultérieurement - proposée initialement par ses collègues (Geoffroy, 1837a, p. 59). Notons aussi que ce concept d'intermédiaire sera réinvesti par Richard Owen avec sa notion d'« archétype » associée à sa théorie du devenir des vertébrés (Cohen, 1997).

Parallèlement, en zoologie, une faune originale conforte l'idée d'échelon intermédiaire.

Découverte lors des récentes explorations des côtes australiennes, elle surprenait et dérangeait les naturalistes, telle l'Ornithorynque et l'Echidné, animaux les plus discutés au début du XIX^e siècle (Gervais, 1837-1838, p. 435)

« Les divers kangaroos, les phascolomes, les dasuyres, les péramèles, les phalangers volans, les ornithorinques, les échnidnés sont venus étonner les naturalistes par des conformations étranges qui rompaient toutes les règles et échappaient à tous les systèmes » (Cuvier, 1834/1999, p. 48)

En effet l'association dans un même animal de caractères appartenant à des classes différentes zoologiques de vertébrés posait problème. Les noms de genre et d'espèce donnés « *Ornithorynchus paradoxus*²⁰⁵ », signifiant « bec d'oiseau paradoxal », marque bien le caractère mixte d'Oiseau (bec et pattes palmées) et de Mammifères (quadrupède à peau couverte de poils mais dépourvu de mamelles). Blainville et Geoffroy Saint-Hilaire se sont opposés sur la nature de cet animal. Suite aux nombreuses dissections effectuées sur l'appareil génital, Blainville²⁰⁶ le déclarait vivipare et appartenir à part entière à la classe des mammifères, possédant des véritables glandes mammaires et proches des Didelphes –appelés marsupiaux aujourd'hui-. Suite aux travaux et observations des zoologistes Meckel et Grant, Geoffroy Saint-Hilaire l'affirmait ovipare et voulait finalement en 1829 en faire une classe différente des mammifères. Echidné et Ornithorynque constitueraient un « échelon transitoire », et il créa le nouveau groupe intermédiaire des Monotrèmes²⁰⁷, à la fois ovipares et allaitant leur petits

²⁰⁴ Buckland montrera qu'il s'agit du premier dinosaure découvert en France, un mégalosaurien. Bourdier dans cet article valide les connaissances zoologiques de Geoffroy pour rapprocher le *dremotherium* du daim musqué ou porte-mus et des chevrotains, petits mammifères ruminants qui possèdent des caractéristiques intermédiaires entre le cerf et le porc

²⁰⁵ Aujourd'hui le nom d'espèce est « *anatinus* »

²⁰⁶ L'Ornithorynque fut d'ailleurs le sujet de sa thèse en 1812 qui lui valut de remporter le concours de la Faculté des sciences de Paris pour accéder à la chaire professorale d'anatomie et de zoologie dans ce prestigieux établissement

²⁰⁷ La nomenclature moderne a conservé cette terminologie mais en en faisant un ordre dans la classe des Mammifères divisée en trois ordres : les monotrèmes, les marsupiaux, les placentaires respectivement appelés aussi au XIX^e siècle les Ornithodelphes, les Didelphes et les Monodelphes. Outre la différence de l'oviparité, le terme de Monotrèmes signale une différence anatomique importante, un seul orifice ou cloaque réunit les organes génitaux, urinaires et digestifs. Une autre différence, une clavicule double n'existe chez aucun autre mammifère

« On peut aujourd'hui regarder comme certain que le premier embranchement de la zoologie se composant des animaux vertébrés, doit être dorénavant partagés en cinq types suivants : Mammifères, Monotrèmes, Oiseaux, reptiles, Poissons. [...] Les Ornithorynques formeront donc le dernier degré de l'échelle mammalogique et constitueront, non pas un groupe animal hétéroclite, comme on s'est tant de fois plu à le répéter, mais un lien par lequel les deux groupes de Vertébrés se trouveront réunis » (Gervais citant ou s'inspirant de Geoffroy Saint-Hilaire, 1837-38, pp. 436-437)

En paléontologie comme en zoologie des animaux étranges sont mis à jour et font l'objet de controverses théoriques. Les liens entre la paléontologie et la classification sont incontournables, que ce soit au sein des reptiles –entre crocodiles et dinosaures-, ou au sein des mammifères –entre didelphe et monodelphe- (Tassy, 1991). Nous allons même étudier ce lien, discuté dans la controverse de 1838 que nous allons aborder par la suite, entre reptile et mammifère.

La controverse paléontologique du fossile himalayen présumé de chameau en 1836-1837

C'est encore Blainville et Geoffroy Saint-Hilaire qui vont s'affronter dans cette discussion à l'Académie des sciences de Paris. Blainville dans une communication à la séance du 7 novembre 1836 affirme qu'un crâne de dromadaire fossile a été déterré en Inde et se fait corriger peu de temps après par Geoffroy Saint-Hilaire qui identifie avec certitude une girafe fossile. La joute rivalise d'arguments scientifiques et la différence de méthode pour sérier les caractères anatomiques est intéressante à noter. D'un côté Blainville somme d'une façon très pointue une foule de détails descriptifs anatomiques : la forme générale de la tête, la forme de l'occiput et du frontal crâniens, la position des orbites, la largeur de la face, la longueur des os du nez, la proéminence des arcades zygomatiques et enfin le nombre de molaires. De l'autre côté Geoffroy Saint-Hilaire se focalise sur un caractère, les chevilles frontales, pièces osseuses indépendantes des os du crâne et différentes des cornes et des bois. Ce caractère est suffisant prime pour la détermination zoologique « ce caractère d'une puissante indication me révélait que dans les temps antédiluviens, il avait existé une giraffe d'un volume corporel supérieur à celui des giraffes vivantes actuellement » (Geoffroy, 1837a, p. 56). Voici un bel exemple de la loi de subordination de Cuvier qu'applique à juste titre Geoffroy en mesurant le poids/ le degré d'un caractère premier²⁰⁸ au sein des caractères secondaires parmi lesquels Blainville se complait « S'appliquant à détruire mon travail de détermination à l'égard du Sivatherium, il (Blainville) abonde en preuves particulières ; pour moi, je ne lui oppose qu'une seule considération : mais je la crois décisive, je la fait dépendre du grand ressort qui gouverne l'allure de la machine » (Geoffroy, 1837c, p. 118). Le voyage en Egypte de 1798 à 1802, puis son investissement pour l'installation et la gestion de la ménagerie au Muséum, ont

²⁰⁸ Geoffroy emploie avec une grande insistance sur les termes de « caractère de suprématie », de « caractère dominateur », de « fait radical » ou encore de « trait fondamental » qu'il oppose aux « différences insignifiantes » (Geoffroy, 1837c)

amené Geoffroy à bien étudier les girafes de différents âges et à observer un périoste spécifique aux cornes osseuses. Il avait d'ailleurs fait trois communications scientifiques à ce sujet durant l'année 1827²⁰⁹, année où il fut chargé d'accompagner de Marseille à Paris une girafe, cadeau du pacha d'Égypte à Charles X qui fit attraction dans toute la France.

Un peu de mauvaise foi semble se rajouter par là-dessus. Tandis que Blainville qualifie de fracture partielle la ligne de suture des cornes (Blainville, 1837a), Geoffroy l'accuse de sélectionner les échantillons et les faces dessinées pour conforter ses vues (Geoffroy, 1837c).

La tension est déjà grande entre nos deux protagonistes. En effet Geoffroy Saint-Hilaire qualifie l'identification de Blainville, son « honorable collègue, plutôt comme une indication de *desiderata*, que comme la constatation d'un fait » (Geoffroy, 1837a, p. 53) ce qui ne manqua sans doute pas d'éperonner la susceptibilité scientifique de son confrère. Blainville rétorque que Geoffroy est obnubilé par des considérations théoriques qu'il cherche à valider et freine ainsi les progrès de la science

« mais l'étude des fossiles ne se bornant pas à la considération zoologique, c'est-à-dire remplir les lacunes de la série animale, et s'appliquant à fournir à la géologie un de ses éléments les plus importants pour la résolution des grandes questions étologiques²¹⁰ dont elle s'occupe, il faut craindre que ces éléments faussés ou exagérés ne la conduisent de nouveau à des hypothèses dont elle a eu tant de peine à se débarrasser vers la fin du dernier siècle, et qui ont arrêté si long-temps ses progrès » (Blainville, 1837a, p. 76).

Le cœur du duel scientifique est posé et élève la discussion vers les cadres théoriques respectifs antagonistes. Sans doute, Blainville fait-il allusion à l'échelle des êtres de Lamarck que Cuvier avait combattue lui aussi.

Geoffroy avait effectivement avancé ses vues de filiation entre les vivants fossiles et actuels et s'était opposé explicitement à Cuvier en accusant ses derniers sectateurs actuels, dont Blainville sur le fond, d'êtres de piètres scientifiques !

« Cette giraffe retrouvée pierre en Asie dans les monts Himalaya, était-ce bien l'ancêtre, la souche des espèces africaines du monde actuel ? C'est dans l'ordre des faits nécessaires, qu'il en existât dans le monde primitif pour perpétuer les races jusqu'à nos jours [...] Cuvier, pour cela faire, tenait trop à son principe de l'immutabilité des espèces ; principe sur lequel reposait sa foi de classificateur, contre lequel j'ai toute ma vie réclamé et qui est présentement, je crois, rejeté de la pensée de tous les vrais et savants zoologistes » Geoffroy, 1837a, p. 56-57).

Il avoue ne pas posséder encore suffisamment de preuves scientifiques pour valider son idée intuitive mais il reste convaincu de son bien-fondé

« ce qui m'a paru toujours évident instinctivement, je veux bien et je dois en convenir, c'est que les espèces antédiluviennes sont les parents directs, ou collatéraux, les ancêtres des animaux du monde actuel [...] Je ne puis donc traiter la haute question qui me préoccupait et me préoccupe toujours, qu'à l'aide de mes propres réflexions, et *à priori* » Geoffroy, 1837a, p. 59)

²⁰⁹ Les trois communications de Geoffroy Saint-Hilaire sont les suivantes : Quelques considérations sur la Girafe. *Annales des sciences naturelles*, t.XI, 210 ; Prolongements frontaux de la Girafe. Court extrait d'une note lue à l'Académie. *Revue encyclopédique*, t. XXXV, 514 ; Notice sur la Girafe. *Précurseur, journal de Lyon*, N° 7-8 juin 1827.

²¹⁰ L'étiologie est l'étude de la recherche des causes des maladies. Il nous semble devoir élargir le sens à « la recherche des causes » dans la phrase de Blainville

Voilà clairement exprimé son cadre transformiste avec la notion d'ancêtre direct, voire même évolutionniste avec la notion d'ancêtres collatéraux.

Fort tenace dans ses vues Blainville ne concéda aucune rectification, se maintint dans ses déductions et persista à qualifier d'« hypothèse purement gratuite » le caractère générique des girafes mis en avant par Geoffroy. Ce dernier capitula en déclarant finalement forfait « suivant lui, la discussion est arrivé à son terme, et qu'il n'a pas l'intention de la pousser plus loin » (Blainville, 1837b, p. 168). Le débat fut intense et de courte durée, ce mois de janvier 1827.

Voici donc posé le contexte scientifique de cette époque en France, riche en projets scientifiques de grande envergure et en controverses en lien avec la paléontologie. L'année 1838 du débat retenu appartient à **une décennie marquée par l'apogée des controverses** au sein de la communauté scientifique française sur les rapports possibles entre les espèces vivantes et disparues. Les problématiques sur les coquilles fossiles sont bien loin des préoccupations de la sphère savante. D'une part, parce que la nature des fossiles en général est résolue et d'autre part, parce que la classification des invertébrés, vu le nombre de spécimens collectionnés, est plus tardive que la classification des vertébrés. La recherche de « faits positifs » s'oriente principalement sur les vertébrés, plus particulièrement les grands reptiles marins et terrestres –dont les dinosaures nommés seulement en 1842 par Richard Owen -. C'est aussi l'avènement de fossiles de restes humains impensables quelques temps auparavant –Cuvier reviendra sur ses premières assertions d'absence de fossiles humains-²¹¹. Toutes ces controverses donnèrent lieu à des réflexions philosophiques car elles mettaient en jeu des cadres épistémologiques divergents. En Allemagne Goethe s'enthousiasme pour le débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire qu'il soutient²¹² (Hoefer, 1857, tome 20, p. 48). En France Auguste Comte honore les travaux d'histologie comparée de son ami Blainville dans sa quarante et unième leçon « considérations générales sur la philosophie anatomique » (1838, pp. 257-282). Il qualifie d'« heureux résultat », d'« importance supérieure » l'étude des tissus et de « lumineuse théorie des phanères, si heureusement créée par M. de Blainville » qui a su se détacher de « l'étude exclusive des appareils » prônée par Cuvier. En parlant de ce dernier, Comte met en doute « sa réputation infiniment exagérée » et « la valeur de sa philosophie que l'impartiale postérité jugera probablement avec une haute sévérité » (ibid., p. 262 et p. 265). Sans doute avait-il été vexé des propos de Cuvier traitant de système panthéiste dangereux la philosophie allemande (Piveteau, 1950, p. 359).

²¹¹ Cuvier dans son ouvrage fondateur de la paléontologie avait écrit un chapitre intitulé « il n'y a point d'os humains fossiles » datant de la première édition de 1812 (1834/1899, pp. 87-92). La quatrième édition de 1834 effectuée deux ans après sa mort, a été dirigée par ses deux principaux collaborateurs, son frère Frédéric Cuvier et Charles Laurillard. Ils ont apporté les additions, les dernières notes et les réponses aux controverses que Cuvier projetait d'intégrer à son œuvre, dont celle sur les os humains (1834/1899, pp. 92-95).

²¹² Les relations d'estime et de sympathie entre Goethe et Geoffroy se sont exprimées réciproquement dans leurs écrits. En 1831 Geoffroy Saint Hilaire avait reconnu le savant dans un ouvrage dédié au poète allemand renommé *Des droits de Goethe au titre et aux hommages d'un savant naturaliste* (Geoffroy, 1837d, pp. 544-546)

Nous abandonnons donc pour la dernière controverse historique de notre recherche les objets d'étude privilégiés précédemment, les coquilles fossiles. Nous nous proposons d'analyser plus finement le débat de 1838 à propos de la découverte de deux fossiles problématiques de petits mammifères de Stonesfield. Elle s'insère parmi les découvertes multiples de vertébrés et d'invertébrés fossiles mais ce débat pose encore plus clairement les liens entre la paléontologie stratigraphique et la paléontologie évolutive. **En 1838 la relance d'une controverse à propos d'un fossile supposé de Didelphe découvert dans les calcaires oolithiques en Angleterre** mobilisa dans un débat institutionnel une nombreuse communauté scientifique. En 1830 Constant Prévost (1787-1856), découvreur du premier fossile problématique de Stonesfield en 1824, présentait au roi Louis-philippe la nouvelle communauté scientifique concurrente à l'Académie des sciences, la Société géologique de France, comme un nécessaire « espace de liberté » questionnant l'histoire parallèle de la Terre et de la vie. (Laurent, 2006). Voyons comment la communauté française s'est approprié cette liberté de pensée et d'échanges fructueux. Auparavant nous situerons le contexte de découverte en Angleterre et nous repérerons les qualités et les vues des protagonistes français ayant participé activement à ce débat de 1838 mémorisé plus amplement dans les archives de l'Académie des Sciences de Paris.

11. 2 Une communauté scientifique divisée à l'Académie de Paris dans l'interprétation des fossiles de Stonesfield

En date du 13 juillet 1835, l'Académie des Sciences de Paris décida de publier en plus des mémoires, des comptes rendus hebdomadaires des séances, signe de l'intérêt d'une communauté discursive active dont les échanges verbaux devenaient aussi importants que les mémoires écrits pour l'institution des savoirs. Durant l'année 1838 un débat paléontologique fut mémorisé au sein même de l'institution française entre deux camps qui s'affrontèrent quelques années après la découverte en 1824 par Buckland (1784-1856) de l'objet de la controverse identifié initialement par Cuvier (1769-1832) dès 1818 sur un premier spécimen dessiné par Prévost. Dans un premier temps, nous allons clarifier l'objet de la polémique, tension entre un fossile et une loi paléontologique dans le contexte de sa découverte. Puis nous présenterons les différents personnages savants, protagonistes de la controverse de 1838, et antérieurement leurs investissements vis-à-vis de cette discipline émergente, la paléontologie.

11. 2 1 Buckland découvre un nouveau fossile dans le gisement jurassique de Stonesfield en Grande-Bretagne

Le premier à avoir découvert et décrit succinctement le fossile problématique fut **le célèbre géologue et paléontologue anglais William Buckland** (1784-1856), alors président de la société de géologie de Londres²¹³ et professeur de minéralogie et de géologie à l'université d'Oxford. William Buckland avait acquis une très grande notoriété par ses recherches sur les grands reptiles du secondaire, par ses idées arrêtées d'une théorie catastrophiste « diluvienne » -inspirée de Cuvier mais voulant absolument faire coïncider les indices scientifiques avec les textes bibliques- et enfin par son humour parfois provoquant. Les découvertes des grands sauriens occupaient largement les communautés scientifiques anglaise et française qu'elles fascinaient. Georges Cuvier eut comme stratégie scientifique de favoriser les voyages des naturalistes français travaillant au musée. Il rencontra lui-même W. Buckland en 1818 pour étudier les restes d'un fossile inédit, celui du grand lézard de Stonesfield, le futur Megalosauire dont il dessina les pièces fossiles –vertèbres, fémur- (Taquet, 1984). Une correspondance suivie s'établit entre Cuvier et Buckland entre 1818 et 1830. Ce fut à cette époque qu'ils réalisèrent l'existence de très grands reptiles fossiles, différents des crocodiliens, dont Buckland estima la taille impressionnante pour celui de Stonesfield « it came must have been more than 40 feet long and 7 feet high²¹⁴ » (ibid., p. 480). En parallèle Cuvier favorise donc la constitution d'un réseau de correspondants entre lesquels se développent des échanges et des transactions de dessins, de moulages ou de pièces originales des fossiles de grands vertébrés. Mary Anning (1799-1847), la première femme paléontologue, et sa famille échangèrent amplement avec Cuvier, entre 1818 et 1824, sur leurs découvertes sensationnelles d'Ichtyosaures et de Plésiosaures²¹⁵ du Jurassique inférieur de Grande-Bretagne (Taquet, 2003). Ces grands reptiles marins sont fréquemment confondus par le grand public et les élèves avec les dinosaures exclusivement terrestres.

Ainsi dans son rapport du 20 février 1824 des *Transactions of the Geological Society* de Londres, Buckland établit **la découverte inédite d'un très grand saurien ou lézard géant.**

²¹³ Créé en 1807 la Geological Society of London est la plus ancienne société savante de géologie du monde. La Société Géologique de France fut créée seulement en 1830 par Constant Prévost (1787-1856) et ses amis Ami Boué (1794-1881) et Jules Desnoyers (1800-1887).

Buckland fut déjà professeur à l'Université d'Oxford en 1813 puis obtint la première chaire de paléontologie en 1816. Il fut président de la Geological Society of London en 1824-1825 et en 1840-184. Puis il fut membre de la Royal society de 1827 à 1849.

²¹⁴ Le pied ou *foot* est une unité de mesure anglo-saxonne qui équivaut à 30,5 cm. En comparaison d'un fémur d'éléphant, Buckland estimait donc la taille du grand reptile à 12 mètres de long et 2 mètres de haut environ.

²¹⁵ Un spécimen de Plésiosaure découvert par Mary Anning a été acheté par Constant Prévost en 1824. Il est exposé aujourd'hui dans la galerie de paléontologie et d'anatomie comparée du Muséum national d'histoire naturelle de Paris (Taquet, 2003, p. 62)

C'est la première description scientifique de dinosaure qu'il baptise *Megalosaurus*²¹⁶ et qu'il suppose être amphibie vu l'association fossilifère d'invertébrés. Non seulement ce premier dinosaure découvert et décrit le surprend par sa taille mais aussi toute la paléobiocénose associée par sa mixité –marine, amphibie et terrestre-. L'assemblage est curieux d'une ancienne faune marine –attestée par des fossiles nombreux de coquilles marines, d'ammonites, de trigonies, de bélemnites, de dents de requins, des os de poissons inconnus et des restes de crustacés- associée à **une faune terrestre – attestée par quelques échantillons surprenants**²¹⁷, **les os d'un oiseau échassier du littoral, les élytres d'insectes coléoptères et une mâchoire de marsupial**. Une association du même type est vérifiée par une flore composite. Le fossile que Buckland trouve le plus extraordinaire est celui d'une mâchoire qu'il se permet d'affilier à un ancien marsupial, didelphe ou opossum, sous l'autorité de Cuvier qui l'avait examiné « without the highest sanction, I should have hesitated to announce such a fact, as it forms a case hitherto unique in the discoveries of geology » (Buckland, 1824, p. 391). Or c'était le second cas de fossile du même genre découvert initialement par Prévost et commenté par Cuvier « deux fragments de mâchoire qui, lors d'une inspection rapide que j'en pris à Oxford en 1818, me semblèrent de quelque didelphe » (Cuvier, 1836, tome X, p. 197). Cuvier valida ce fossile comme un insectivore, carnassier voisin des Sarigues dans son tableau comparatif des vivants et des fossiles (ibid., p. 484). Mais c'était la première fois qu'il y avait corrélation certaine avec les terrains secondaires, Buckland était affirmatif et avait devancé les doutes à ce sujet. Anticipant la contre-argumentation d'un transport éventuel de ces fossiles, il insiste sur le fait qu'ils sont entièrement intégrés dans la roche calcaire et non pas logés dans des fissures ou des cavités.

11. 2 2 L'objet de la polémique : un fossile problématique faisant exception à la loi de progression des faunes fossiles

Donc l'étrangeté de ce fossile est dans son positionnement stratigraphique du Jurassique – terme défini par Alexandre Brongniart en 1829 pour les terrains calcaire du Jura (Tassy, 1997, p. 1138) sous-jacent à la craie, correspondant au niveau supérieur des terrains du

²¹⁶ Le Mégalosauure découvert par W. Buckland en 1824 fut le premier dinosaure décrit. Il est exposé au musée d'Histoire naturelle de Maastricht actuellement (Taquet, 2001, p. 264). Le concept de dinosaure n'existe pas en 1824. A la suite de toutes les découvertes semblables qui dévoilent de surprises en étonnements une diversité fantastique de ces sauriens, Richard Owen baptise officiellement du nom de « dinosaure » en 1842 cet ordre nouveau de reptiles gigantesques dont la taille effrayante dépassait l'imagination d'où le terme de « terrible lézard » . Il y a actuellement recensé 27 familles de dinosaures divisées entre les sauropodes, dinosaure végétariens, et les théropodes, dinosaures carnivores bipèdes qui ont donné par filiation les oiseaux. De 1997 à 2007, encore 167 nouvelles espèces ont été découvertes en Afrique et en Amérique (Taquet, Emission France Inter du 2 avril 2009)

²¹⁷ Dans son article de 1824, Buckland annonce une future communication dans laquelle il projette de développer ces autres spécimens étranges de cette faune fossile associée au *Mégalosaurus* (p. 394).

Secondaire, le Crétacé. Buckland souligne bien la stratification de ce banc calcaire fossilifère extraordinaire situé entre le niveau de pierre à chaux sus-jacent et le niveau de la grande oolithe de Bath²¹⁸ sous-jacent. Soulignons que la coupure stratigraphique –appelée aujourd'hui Crétacé-Tertiaire - était le point de référence dans l'école stratigraphique parisienne de l'époque (Ellenberger & Gohau, 1981). Dès la fin du XVIII^e siècle, dans ses *Lettres à Delametherie* De Luc (1727-1817) identifiait trois classes de couches selon un ordre répété, argile-calcaire-craie qui respectivement contenaient les fossiles spécifiques, huîtres plates -cornes d'Ammon -oursin et absence de cornes d'Ammon. (Ellenberger & Gohau, 1981, p. 231 et p. 235). Le paléontologue Cuvier, inspiré par De Luc, a ressenti le besoin de collaborer avec le minéralogiste Alexandre Brongniart dès 1810 pour une étude mixte de la géologie des environs de Paris²¹⁹. Cuvier reste prudent sur cette discontinuité stratigraphique généralisée et marquée au début du XIX^e siècle par la présence des mammifères. En effet il parle des fossiles de Didelphes de Stonesfield dans les terrains secondaires comme d'une « exception presque sans conséquence » (Cuvier, 1834/1999, p. 74). C'est pourtant l'objectif majeur qu'il avait annoncé (cf. Chap.11. 12). Il ne se doutait pas que cette exception de « zoologie fossile » allait générer autant de conflits.

Donc le positionnement du problème est bien la corrélation entre l'identité de ce fossile de vertébré, présumé mammifère, et les terrains du jurassique allant à l'encontre d'une loi quasi consensuelle, la loi de progression des faunes fossiles. Les corrélations, entre la diversité des terrains et la diversité des fossiles examinés en ce début de XIX^e siècle, confortèrent une succession ordonnée de faunes, référencée essentiellement à partir des vertébrés à l'échelle du globe

« cela de remarquable, que ce groupement purement *palaeothographique* coïncide parfaitement avec les différents groupes de terrains [...] en *intermédiaire, secondaire, tertiaire, quaternaire* et *moderne*. Il résulte de là que, si l'on veut prendre *un type caractéristique parmi les êtres de chaque Epoque, tels que les Trilobites pour la 1^{re}, les grands Sauriens pour la 2^e, les Paleothères pour la 3^e, les Eléphants pour la 4^e, et l'Homme pour la 5^e*, on pourra établir une nomenclature des Epoques dans un rapport parfait avec les terrains » (Huot, 1835, Tome 3, p. 90).

L'auteur nous alerte sur le fait que, l'existence de quelques vertébrés fossiles est pressentie dans la première époque mais, « cela n'est pas encore suffisamment prouvé » alors que les

²¹⁸ La formation oolithe ou l'oolithique est une ancienne division stratigraphique qui regroupait le Jurassique moyen et le Jurassique supérieur. Actuellement la Grande Oolithe correspond à l'étage Bajocien du Jura alors que la grande oolithe dont parle Buckland et qui la réfère à la ville de Bath doit correspondre au Bathonien, étage nommé en 1849 par Alcide d'Orbigny en référence au stratotype de la ville de Bath en Grande-Bretagne. Ce sont les deux derniers étages du jurassique moyen. Quant au niveau qu'il appelle « pierre à chaux » il pourrait correspondre aux niveaux supérieurs calcaire-marneux, Callovien ou Oxfordien.

²¹⁹ Leur étude commune *Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris* (278 p.) intégrée dans la première édition de synthèse de l'œuvre paléontologique de Cuvier (1812) est accompagnée de différentes coupes privilégiant les buttes comme celle de Montmartre et d'une « coupe générale et idéale des divers terrains ou formations qui composent le sol des environs de Paris » ainsi que d'une carte géognostique. Ces coupes associent les caractères lithologiques et les découvertes des vertébrés fossiles comme ceux des carrières de gypse ou « pierre à plâtre ».

poissons « appartenant à des genres inconnus » et les grands reptiles sont très nombreux dans la seconde époque. Donc, parmi les deux histoires collatérales, lithologique et paléontologique, ce sont les archives fossiles qui ont été validées finalement pour une chronologie relative des terrains. Ce choix raisonné était le fruit de prospections géologiques invalidant la fiabilité du critère géognosique, l'ordre des couches par leur contenu minéralogique ou lithologique. D'une part, le principe de superposition pouvait être défaillant suite à l'érosion ou au métamorphisme. Et d'autre part, la variabilité lithologique pouvait n'être qu'une variable régionale par rapport aux espèces ubiquistes qui pouvaient servir donc de chronomètre plus acceptable (Gohau, 2002a). Les fossiles devenaient alors les seules archives stratigraphiques universelles reconnues constituant un étalon de référence permettant des corrélations à distance (Gohau, 1986). En résumé, au début du XIX^e siècle tous les restes fossiles de mammifères étaient uniquement attendus dans les terrains tertiaires.

Nous avons deux échantillons de fossiles problématiques, le *Didelphis Prevostii* découvert en 1818 et identifié par Cuvier et le *Didelphis Bucklandii* découvert par Buckland et identifié par Cuvier et Broderip (1827). Prévost pose clairement le problème de ces deux « fossiles anormaux » qui constituent donc

« une importante exception aux observations de M. Cuvier qui, jusqu'alors, n'avait commencé à rencontrer les débris de mammifères qu'au dessus de la craie ; les conséquences déduites par cet anatomiste de faits purement négatifs pouvaient, il est vrai, être regardés comme hypothétiques, et il ne pouvait pas paraître impossible qu'un fait nouveau vint détruire ces conséquences » (Prévost, 1825, p. 396).

Trois solutions scientifiques peuvent être choisies, dont deux relevant de la remise en cause des données empiriques - la fiabilité de la détermination anatomique ou la véracité de la position stratigraphique- et la troisième engageant la remise en cause de la loi théorique d'absence des mammifères fossiles dans les terrains secondaires. Voyons quelles pistes ont été explorées par la communauté scientifique pour mettre à l'épreuve ces fossiles intéressants mais dérangeants.

11. 2 3 Les protagonistes d'une communauté scientifique discursive

La controverse de 1838 mobilisa **cinq protagonistes de statut très différent** par la reconnaissance scientifique de la communauté savante à cette époque. Trois académiciens français en titre ont déjà acquis une notoriété considérable, Geoffroy Saint-Hilaire, Duméril et de Blainville. Et deux jeunes naturalistes sont en plein essor de leur carrière, Valenciennes et Agassiz. Tous appartiennent à la section d'anatomie et de zoologie mais se sont intéressés à cette discipline émergente sous l'impulsion de Cuvier, la paléontologie définie par Flourens comme la « science étonnante des espèces perdues ». En effet, la section de paléontologie n'a été créée qu'en 1853 avec la chaire correspondante, attribuée à Alcide d'Orbigny par

Napoléon III contre l'avis de la communauté scientifique du Muséum (Vénec-Peyré, 2002, p. 321).

Le plus ancien académicien, **Étienne Geoffroy Saint-Hilaire** (1772-1844), est membre de l'Académie des Sciences de Paris depuis une trentaine d'années -il fut élu en 1807- et il a succédé à Cuvier durant l'année 1833 au poste prestigieux de la présidence de l'institution. En 1793 lors de la réorganisation du Jardin des Plantes au Muséum d'Histoire naturelle le jeune Geoffroy Saint-Hilaire partage la nouvelle chaire de zoologie avec l'illustre Lamarck. Tous deux sont chargés de nouveaux enseignements, le premier sur les oiseaux et les mammifères, le second sur les invertébrés vu ses compétences en conchyliologie. Plus tard une troisième chaire sera attribuée à Lacepède sur les serpents et les poissons (Tétry, 1980, Tome 15, p. 1154). Geoffroy est surtout connu pour ses travaux en biologie et en embryologie et sa participation enthousiaste à la création d'une ménagerie au Muséum d'histoire naturelle de Paris. Ils lui valurent une autre chaire de zoologie à la faculté des sciences de Paris que refusa Lamarck. Très tôt, le questionnement de Geoffroy porte sur les relations entre espèces actuelles et anciennes. Il a pu émerger avec sa campagne scientifique égyptienne de 1792 à 1802. Elle lui permit de nombreuses observations d'une faune exotique inexplorée – préférentiellement deux groupes, les crocodiles et les poissons de la mer rouge et du Nil -. Et il rapporta une superbe collection d'êtres vivants actuels et momifiés dont Lacepède et Cuvier firent un rapport

« Mon savant collègue, M. Geoffroy Saint-Hilaire, pénétré de l'importance de cette recherche, a eu soin de recueillir dans les tombeaux et dans les temples de la Haute et de la Basse-Egypte le plus qu'il a pu de momies d'animaux. Il a rapporté des chats, des ibis, des oiseaux de proie, des chiens, des singes, des crocodiles, une tête de bœuf, embaumés ; et l'on aperçoit certainement pas plus de différence entre ces êtres et ceux que nous voyons, qu'entre les momies humaines et les squelettes d'hommes d'aujourd'hui. [...] Je sais bien que je ne cite là que des individus de deux ou trois mille ans ; mais c'est toujours remonter aussi haut que possible » (Cuvier, 1834/1999, p. 85).

L'analyse anatomique comparative conforta les vues fixistes de Cuvier : « on lui (Geoffroy Saint-Hilaire) doit la plus forte preuve qui ait jamais été donnée de la fixité des espèces, grand fait qu'il devait plus tard combattre » (Flourens, 1853, p. X). Mais cette durée si courte n'était pas une preuve en soi pour Geoffroy, ami proche de Lamarck qui récusait en 1802 une échelle de temps historique

« Je sais très-bien que pour nous l'apparence présente à cet égard une *stabilité* que nous croirons constante, quoiqu'elle ne le soit pas véritablement ; car un assez grand nombre de siècles peuvent être une durée insuffisante pour que les mutations dont je parle soient assez fortes pour que nous puissions nous en apercevoir » (Lamarck, 1802b/1986, p. 143 /p. 98).

Au contraire Lamarck défendait des centaines de millions d'années pour l'histoire de la Terre –il fit même un calcul d'estimation du temps de retrait et de séjour des mers à 9 millions de siècles- en relativisant les références historiques de l'homme

« La plus grande vraisemblance m'indique qu'une révolution complète des *points polaires* doit suivre entièrement la révolution du déplacement du bassin des mers, et conséquemment s'exécuter avec une lenteur tout aussi considérable, c'est-à-dire, exiger des millions de siècles pour s'opérer. [...] Comme nous mettons toutes les durées en comparaison avec celle de notre existence éphémère, combien notre imagination ne doit-elle pas être étonnée en pensant à un espace de temps aussi énorme ! Mais pour la

Nature, ces durées, qui accablent notre pensée, ne sont que des instans. » (In P. Corsi (dir.), www.lamarck.net, Lamarck, 1802a, pp.179 et 267).

A partir de la controverse de 1825 sur le Teleosaurus, les problèmes paléontologiques devinrent une obsession pour Geoffroy Saint-Hilaire (Bourdier, 1972). Ainsi un de ses mémoires paru en 1828 au Muséum d'histoire naturelle, *Mémoire Où l'on se propose de rechercher dans quels rapports de structure organique et de parenté sont entre eux les animaux des âges historiques et vivant actuellement et les espèces antédiluviennes et perdues*²²⁰ explicite bien cette préoccupation majeure centralisant toutes ses recherches et qui ne le quitta plus jusqu'à la fin de sa vie publique comme il l'avoue encore en 1837. Il annonce une comparaison structurale mais aussi l'idée claire d'une filiation. Sa notoriété scientifique est grande mais aussi sa popularité. De nombreuses qualités humaines lui sont accordées, courage, générosité, diplomatie et une passion indéfectible pour les progrès des sciences naturelles et les controverses associées « il y a tant à apprendre en comparant des termes opposés dans toute recherche, et en y cherchant les influences réciproques du passé sur le présent et du présent sur les événements consommés dans le passé » (Geoffroy, 1837b, p. 82). Le second académicien en titre, **Constant Duméril** (1774-1860), il fut élu en 1816 à l'Académie des sciences –alors Institut des sciences et arts–, dont il assura la présidence en 1831. Elève et ami de Cuvier, il écrivit les deux premiers volumes d'un ouvrage important *Leçons d'Anatomie comparée de M. G. Cuvier*, en 1799. Brillant anatomiste, à la fois médecin et naturaliste, il le remplaça dans ses cours d'histoire naturelle à l'Ecole centrale du Panthéon. Pendant vingt-deux ans il fut professeur au Muséum d'histoire naturelle, suppléant de Lacepède auquel il succéda en 1825 comme titulaire de la chaire d'erpétologie et d'ichtyologie. Outre la systématique des reptiles, des batraciens et des poissons il s'intéressa aussi à la classification des insectes. Suite à ses qualités de professeur aux idées novatrices, Cuvier le mobilisa en 1804 et en 1807 dans l'écrit du manuel officiel pour les Lycées *Traité élémentaire d'histoire naturelle* (Bourdier, 1978). Reconnu spécialiste des reptiles, il créa aussi le premier vivarium de reptiles en Europe.

Quant au troisième académicien, **Henry Ducrotay de Blainville** (1777-1850), élu membre plus récemment en 1825, il fut une forte personnalité. C'est lui qui émit des incertitudes sur l'identification exacte du fossile de Stonesfield et qui lança donc la controverse le 20 août 1838. Blainville était enclin aux doutes comme Flourens le signalait dans son éloge avec cette devise qui le caractérisait « ce que l'on donne aujourd'hui est presque toujours susceptible d'être modifié demain » (Flourens, 1860, p. XXX). Mais il était aussi avide du pouvoir des savoirs « l'autorité de la chaire et le ton dogmatique du maître ; l'influence dominatrice

²²⁰ Cf. aussi la communication de 1825 de Geoffroy Saint-Hilaire dans laquelle, travaillant sur les Sauriens il parla « Du degré de probabilité que les Teleosaurus et les Stenosaurus des âges antédiluviens sont la souche des Crocodiles répandus aujourd'hui dans les climats chauds des deux continents » (1825) Recherches sur l'organisation des gavials, sur leurs affinités naturelles, desquelles résulte la nécessité d'une autre distribution générique, Gavialis, Teleosaurus, Steneosaurus. *Memoire du Muséum*, t. XII, 97

qu'exerce sur les intelligences la supériorité du savoir lui parut le plus enviable des succès » (ibid., p. V). De disciple admirateur de Cuvier, il devint un élève indocile avec le besoin permanent d'une « absolue liberté d'opposition ». Il l'acquit peu à peu avec les charges professorales à l'Athénée (1811), au Collège de France (1812), au Muséum (1814) en tant que suppléant à Cuvier –qui reconnaissait ses qualités scientifiques- et surtout avec sa nomination au poste de professeur adjoint à la chaire d'anatomie et de zoologie à la Faculté des sciences en 1812. C'est le premier trait de caractère mis en avant par Flourens dans son éloge, cet attrait de la polémique « ce qui l'anima, ce fut la plaisir de la contradiction ». De plus fier de la noblesse de ses ancêtres, il estimait avoir des privilèges et « celui de censurer et d'avoir toujours raison lui paraissant le plus précieux de tous, il en usait constamment et partout » (Flourens, 1860, p. IV). Cuvier se moquait de son caractère ombrageux et excessif « Demandez à M. de Blainville son opinion sur quoi que ce soit, ou même dites-lui seulement *bonjour*, il vous répondra : Non » (ibid. p.VIII). Mais il appréciait ses vues contraires qui lui permettait d'anticiper les angles d'attaques à ses idées. Blainville succéda en 1832 à la mort de Cuvier à la chaire d'anatomie comparée du Muséum. C'est à partir de cette fonction qu'il s'intéresse aux espèces perdues et à leurs rapports avec les vivants actuels. Mais il fit de son cabinet un « inviolable asile » n'acceptant que des élèves qui lui rendaient hommage et avait foi dans ses idées. Dans ce sanctuaire de misanthrope il ébauche « la controverse ardente de tous les arguments sur lesquels Cuvier avait fondé la science nouvelle de la paléontologie » (ibid., p XVI). « Force dans la méditation, hardiesse et ténacité dans la controverse » vont se retrouver dans le débat de 1838.

Notons qu'il n'est pas anodin que **cette controverse reprenne après la mort de Cuvier en 1832**, et qu'elle fasse suite au fameux débat qui a opposé en 1830 Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire. Mais cette fois-ci la discussion intègre les fossiles et discute leur place par rapport aux vivants actuels. Geoffroy évoquait en 1837, à plusieurs reprises, le « principe dominateur » de Cuvier tout comme Blainville évoquait son « autorité imposante » (Blainville, 1838, p. 403) comme si tous deux furent libérés d'un joug intellectuel. Le pouvoir incontournable de Cuvier était unanime « l'ascension de son génie lui donnait une telle autorité, que, par toute la terre, comme on l'a dit de Linnaeus, on interrogeait la nature en son nom » (Laurillard, 1834, p. 33). Cuvier put déclencher une admiration de ses élèves, dont Duméril et Valenciennes firent parti. Par contre son autorité fut ressentie aussi souvent comme de l'autoritarisme à la fin de sa carrière. Et le mépris affiché de Cuvier contre les vues théoriques de Lamarck²²¹ et Geoffroy en 1830 fut publiquement mal reçu (Bourdier 1960, p.

²²¹ Lamarck en fit les frais qui s'exprimèrent même dans l'éloge que lui écrivit Cuvier, éloge qualifié d'« inacceptable pamphlet » par ses pairs qui refusèrent sa lecture publique en 1830 (Bourdier, 1960, p. 33). La seconde version de l'éloge de Lamarck lu à l'Académie des Sciences le 26 novembre 1832, reste encore très peu flatteuse pour la carrière du savant naturaliste et l'ensemble des travaux d'un « homme laborieux » et sans ressources. La *Flore française* parue en 1778 n'était « qu'un guide » imitant les auteurs anciens pour servir de divertissement botanique, « science à la mode [...] de beaucoup de femmes et de gens du monde ». S'il eu une

33). Deux figures scientifiques de tempérament très différent, le bienveillant Geoffroy Saint-Hilaire et l'arrogant Blainville, apprécient tous deux les « discussions hardies » et le « débat contradictoire » en s'opposant finalement au grand Cuvier.

Par contre, les deux autres protagonistes sont de jeunes naturalistes qui appartiendront à l'Académie des sciences après 1838 et ils sont souvent qualifiés dans les biographies comme de **fidèles disciples de Cuvier**. En 1839 **Louis Agassiz** (1807-1873) fut reconnu correspondant suisse mais il ne fut associé à l'académie qu'à la fin de sa vie en 1872. Sa rencontre avec Cuvier en 1832, peu avant sa mort, impulsa ses *Recherches sur les poissons fossiles (1832-1842)*. Cuvier mit à sa disposition les riches collections du Muséum d'histoire naturelle de Paris. C'était la reconnaissance de la qualité d'un travail antérieur sur l'ichtyologie, en 1826 son étude importante de cent seize espèces de poissons rapportées du Brésil où il apportait de nouvelles idées sur les classifications ichtyologiques (Hoefer, 1855, tome 1, p. 362). Le dernier protagoniste est aussi un élève et collaborateur de Cuvier. **Achille Valenciennes** (1794-1865) soutiendra d'ailleurs la première détermination que Cuvier avait faite du fossile de Stonesfield, un mammifère didelphe (marsupial). Il fut préparateur au Muséum dans la section de zoologie à partir de 1812. Collaborateur proche de Cuvier, en 1832 ce dernier lui légua par testament tous les matériaux de son travail en cours, l'histoire naturelle descriptive des poissons qui avait pour but de démontrer la connaissance méthodologique des espèces par la subordination des caractères en genre, famille et ordre (Laurillard, 1833, pp. 33 et 69). Il obtient la même année la place laissée vacante par Blainville, la chaire au Muséum sur les annélides, les mollusques et les zoophytes. Elu membre de l'académie en 1844, il eut la réputation d'exagérer les vues de Cuvier dans l'opposition entre faits et hypothèses (Appel, 1976, vol. 13, p. 554).

Nous devons maintenant analyser plus finement l'argumentaire de leur débat pour déceler les points de divergence, nœuds de la controverse. Nous allons voir combien le cadre théorique peut être mis en tension avec le registre empirique et comment ils peuvent interférer l'un par rapport à l'autre pour avancer des logiques explicatives différentes.

place à l'Académie des sciences en 1779, ce n'est pas dû à la qualité de ses travaux mais à une « espèce de passe-droit » impulsé par Buffon auprès du roi (Cuvier, 1832, pp. 7-8). Par la suite, il obtint « une chétive place de garde des herbiers au Cabinet du roi ». Et en 1793 parmi les douze chaires du nouveau Muséum d'histoire naturelle, il dut se « contenter du lot que les autres n'avaient pas choisi [...] la chaire relative aux deux dernières classes du règne animal tel que Linnaeus l'avait divisé, à ce qu'on appelait alors les insectes et les vers » (ibid., pp. 11-12). Tout est formulé de telle sorte à dévaloriser Lamarck !

11. 3 Analyse approfondie du débat paléontologique de 1838 dans le cadre de la problématisation

11. 3 1 L'espace problème et l'architecture du questionnement

Les doutes de Blainville lors d'une communication à l'Académie des Sciences le 20 août 1838

Dans le cercle de la communauté scientifique un problème est clairement annoncé en faisant l'objet du titre de la première communication relançant la discussion « A quelle Classe, à quelle Famille, à quel Genre doit-on rapporter l'animal auquel ont appartenu les ossements fossiles, à Stonefield, désignés sous les noms de *Didelphis Prevostii*, et de *Didelphis Bucklandii*, par les paléontologistes » (Blainville, 1838a). L'auteur retrace historiquement les deux découvertes entérinées par la dénomination de deux espèces différentes, *Didelphis Prevostii* et *Didelphis Bucklandii*, en hommage au dessinateur Constant Prévost (1825) en 1825 et au découvreur William Buckland (1824). Il rappelle les réserves émises dans un premier temps sur la position stratigraphique « si cet animal est certainement des schistes de Stonefield, c'est une exception à la règle, d'ailleurs si générale, que les couches de cette ancienneté ne recèlent pas de mammifères » (ibid., p. 403). Dans son rapport de 1825 Constant Prévost avait carrément réfuté cette position stratigraphique oolithique –du Jurassique- du premier fossile en invalidant tous les arguments de Buckland. Blainville ne doute plus du critère géologique conforté par l'un des géologues anglais les plus renommés, Fitton, et par l'observation qu'il fit de la « face externe et fortement adhérente par l'autre à la roche dans laquelle elle est même assez profondément engagée » (Blainville, 1838 a, p. 406 et fig. 1). Par contre il remet en cause le critère zoologique. « Le prétendu Didelphe », « une exception à la règle », « ce fait si anormal », l'« exception paléontologique » marque l'insistance de Blainville à faire entrer le doute sur l'identification de cet échantillon fossile dans la communauté scientifique. D'ailleurs, Blainville explicitera dans la communication ultérieure la posture scientifique qu'il s'était définie, à savoir poser le problème qui le préoccupe de détermination des fossiles du gisement exceptionnel de Stonesfield

« j'avais pour but plutôt d'attirer l'attention des naturalistes anglais sur ce point si important de paléontologie, plutôt de montrer comment devraient être traitées ces sortes de questions, que de résoudre réellement le problème, si dépourvu que j'étais des éléments nécessaires [...] Espérons donc que les zoologistes allemands qui ont vu et étudié ces fossiles énigmatiques, se joignant à ceux qui les possèdent ou les ont à leur disposition, en Angleterre, la discussion soutenue par des raisonnements appuyés par des faits bien vus et incontestables, pourra atteindre à une démonstration » (Blainville, 1838 b, p. 728)

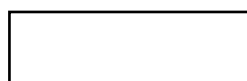
Il désirait donc l'offrir aux critiques de la communauté scientifique avertie, zoologique et paléontologique, française, britannique et allemande et « engager solennellement la discussion ».

Le positionnement du problème dans l'argumentaire de Blainville lors de cette première communication relançant le débat à l'Académie des Sciences

Nous avons schématisé l'architecture du questionnement posé par Blainville selon la méthodologie de l'espace-problème (Schéma N°32). Il y a convergence de la démonstration vers ce **problème unique central ouvert** au départ, l'identification des fossiles de Stonesfield à trois niveaux de la classification, classe, famille et genre (Q1). Le premier embranchement du schéma révèle les deux inférences apocritiques possibles : d'un côté la conjecture d'un mammifère marsupial (Q1-R1A) proposée initialement par Cuvier et à laquelle la communauté semble avoir adhéré, d'un autre côté l'ouverture vers sa nouvelle hypothèse d'appartenir à un reptile (Q1-R1B). Ce qui l'amène à fermer son questionnement par deux inférences problématologiques convergentes sur l'appartenance des fossiles « prétendus de Didelphes » à la classe des mammifères (Q2). Et tout au long de sa démonstration pour la recherche de réponse satisfaisante il utilise **cette méthode analogique dichotomique**, la confrontation aux analogues vivants (R2A) ou la recherche d'analogues fossiles (R2B). Contrairement à Cuvier qui comparait uniquement les squelettes des animaux vivants pour éclairer l'identification d'une espèce fossile, Blainville veut embrasser toute l'ostéologie des êtres vivants et fossiles (Hoefer, 1855, Tome 6, p. 174). Les problèmes paléontologiques peuvent aussi chercher des réponses parmi d'autres fossiles par complémentarité aux vivants actuels qui ne sont plus les seuls référents. Parmi **les nombreux critères anatomiques observés** – uniquement par le biais de dessins - sur la double base zoologique et paléontologique c'est essentiellement sur le système dentaire que s'appuie la démonstration de Blainville (Annexe 39). Il choisit de délaisser la forme de la mâchoire inférieure – courbure, condyle articulaire et apophyse coronoïde-. Il accumule plus de différences dentaires que de similitudes (R3) entre ces fossiles et les mammifères référents actuels. Ce qui génère forcément une inférence d'objection plus accablante (O1). Dans la méthodologie d'anatomie comparée de Blainville, nous pouvons noter **le double statut de la preuve scientifique, positive et négative**. Comment met-il en tension des preuves par réfutation ou des preuves par validation ? Soit il semble mettre en avant des preuves positives, par exemple la présence de racine dentaire double uniquement pour les molaires ou « mâchelières » chez les mammifères connus actuels. Alors que toutes les dents des spécimens fossiles étudiés en possèdent. Or le critère premier retenu des mammifères marsupiaux par Blainville est la différenciation des dents antérieures simples, c'est-à-dire à racine unique, par rapport aux dents postérieures complexes, c'est-à-dire à double racine. L'absence de ce critère double invalide pour lui l'appartenance au groupe au niveau du genre marsupial mais non au niveau de la classe mammifère. Soit il met en avant des preuves négatives, par exemple l'absence d'un canal dentaire pour les deux fossiles alors que tous les mammifères vivants connus en possèdent-. Ce qui ne le porte pas à valider même cette classe des mammifères. Donc en se référant uniquement à la diversité actuelle, sa première piste invalide le genre Didelphes (O1)

mais n'invalide pas avec certitude un genre nouveau au sein de la classe des mammifères (R3 et R5). Par contre en se référant à la diversité passée, la seconde piste d'investigation rendrait « infiniment plus probable » un genre nouveau de la classe des reptiles grâce aux critères fossiles corrélés, la mâchoire à double dentition et des vertèbres (R4). De ces deux enchaînements logiques l'un zoologique et l'autre paléontologique, il aboutit à une dernière inférence problématologique intéressante en relation avec le statut de la preuve scientifique (Q3) « l'existence des restes de mammifères antérieurs à la formation des terrains tertiaires n'est nullement prouvée ou mise hors de doute par les fossiles de Stonefield que nous venons d'examiner, quoique nous soyons loin d'admettre que des mammifères n'aient pas pu vivre dans la période secondaire » (Blainville, 1838a, p. 418). Le véritable problème est ainsi offert à la société savante zoologique et paléontologique européenne. La fossilisation partielle et la qualité de conservation de l'échantillon sont fondamentales dans la démarche de validation. L'identification sur seulement des demi-mâchoires dont une incomplète –la première découverte- relativise la difficulté méthodologique de la loi de corrélation des organes que Cuvier put exagérer en revendiquant la possibilité d'identifier un ancien vertébré avec une seule dent fossilisée !

Légende du schéma N°32



Problème d'identification des fossiles

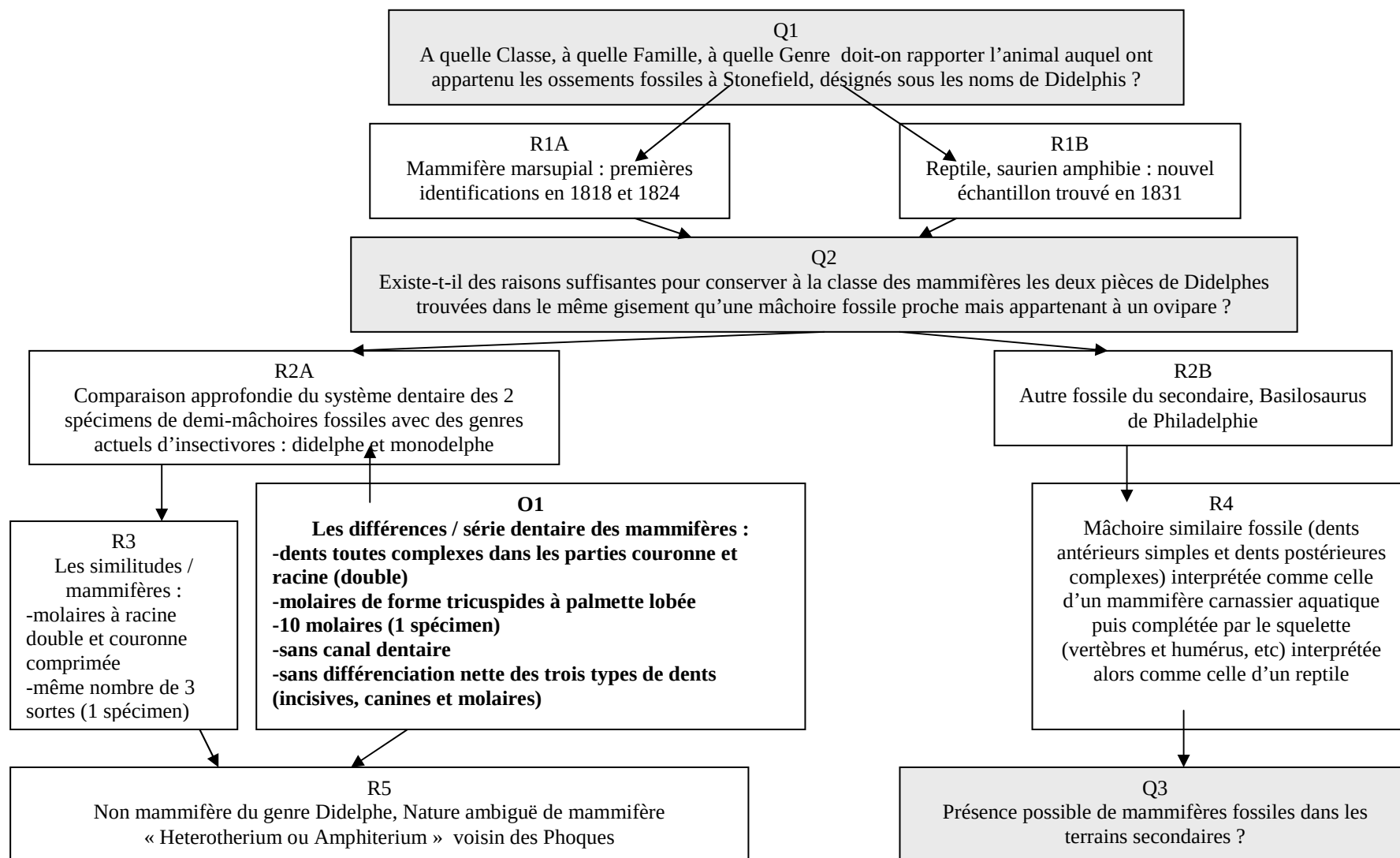
Q = question

R = réponse ou argument

O = objection ou contre-argument

- QR = Inférence apocritique, réponse induite par la question
- RQ = Inférence problématologique, la réponse induit une nouvelle question
- ← RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection : la réponse, la question ou l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

Schéma N°32 : **MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE de 1838 à propos du prétendu Didelphe de Stonesfield** (Blainville 1838 a)



En réponse au compte rendu de Blainville, Louis Agassiz répondit rapidement le 3 septembre 1838 pour signaler l'antériorité d'une identification similaire qu'il fit paraître dès 1835 dans le journal *Léonhard & Bronn*. D'après le rapport, il revendiquait simplement le privilège de réfuter l'identification d'un fossile de mammifère faite par Cuvier et confortait Blainville dans l'hypothèse d'un fossile de Saurien. Voyons quelles sont les autres réactions plus développées que Blainville a provoquées par cette communication d'ouverture du débat. Analysons quelles raisons furent mobilisées par l'ensemble des protagonistes et de quelle nature furent leurs arguments pour faire pencher une validation scientifique d'identification d'un fossile.

11. 3.2 Les logiques argumentatives antagonistes structurant un espace de contraintes

La contre argumentation de Valenciennes dans sa réponse du 10 septembre 1838

Suivant l'invitation de Blainville à poursuivre les investigations, Valenciennes répond très courtoisement à son savant argumentaire. La première attaque est d'ordre méthodologique. Ni Cuvier, ni Blainville n'ont disposé des échantillons fossiles pour une étude anatomique assurée. Cuvier s'est appuyé sur le dessin de Constant Prévost et reconnaît avoir prêté peu de cas des « deux fragments de mâchoire qui, lors d'une inspection rapide que j'en fis à Oxford en 1818, me semblèrent de quelque Didelphe » (Cuvier, 1836, tome 10, p. 197). Cuvier s'intéressait surtout au *Megalaurosaurus* découvert par Buckland dans ce célèbre gisement de Stonesfield. Quant à Blainville il disposait simplement des trois planches de dessins (Annexe 39) de « figures plus ou moins bien caractérisées qui ont été données de ces intéressants fossiles » (Valenciennes, 1838, p. 573) et qui l'ont induit en erreur en exagérant l'apparence palmée des dents (ibid., p. 576). Or Valenciennes put observer les deux célèbres spécimens de Stonesfield apportés par Buckland, put en faire des moulages et ainsi confronter ces originaux avec la riche collection des différents mammifères et reptiles du Jardin des Plantes du Muséum d'histoire naturelle de Paris. La seconde attaque est en rapport avec l'honnêteté de référence bibliographique. En effet la première réaction à la communication de Blainville est celle d'Agassiz qui revendique l'antériorité de l'idée et dit avoir donné « une opinion qui est parfaitement d'accord avec celle de M. De Blainville » (Agassiz, 1838, p. 537). Or l'accord porte uniquement sur la réfutation d'appartenance à l'ordre des marsupiaux mais non pas sur la conjecture d'appartenance à un saurien puisqu'il valide au contraire la classe des mammifères. Enfin le troisième angle d'attaque de l'argumentation de Valenciennes est de compléter l'observation des mandibules en élargissant le nombre de critères étudiés précisément concernant l'anatomie de cette pièce osseuse et de son articulation. Son argumentaire aboutit à une conclusion méthodologique intéressante. Elle met en valeur d'une

part la **nécessaire hiérarchisation des caractères à considérer** dans une étude anatomique « cette étude est une nouvelle preuve que l'examen attentif des plus petites parties qui entrent dans les formes organiques des êtres conduisent à des résultats généraux très curieux, et deviennent des caractères dont on était loin de soupçonner d'abord l'importance » (Valenciennes, 1838, p.579). Voici explicitée cette notion fondamentale de caractère que nous pouvons mettre en regard de la notion actuelle déclinée en attributs et exploitée en classification phylogénétique aujourd'hui. D'autre part Valenciennes, en bon élève de Cuvier, insiste sur la nécessaire corrélation entre les différentes parties anatomiques d'un animal « Ainsi le forme de cette apophyse, celle des dents, celle du condyle, sont toujours combinées de manière à ce que leur étude devient ensuite féconde pour apprécier les rapports naturels des êtres » (ibid.).

La communication de Geoffroy Saint-Hilaire dans sa réponse du 24 septembre 1838

Etienne Geoffroy Saint-Hilaire était reconnu comme un des spécialistes des reptiles. Il s'est particulièrement intéressé aux crocodiles qu'il avait observés au bord du Nil lors des expéditions napoléoniennes en Egypte de 1798 à 1802 (Geoffroy, 2000). Et il s'est enthousiasmé pour les découvertes de grands sauriens fossiles (Bourdier, 1967). Mais il était aussi spécialiste des marsupiaux et reconnu comme tel par ses confrères Cuvier et Valenciennes (Valenciennes, 1838, p. 572). En effet Geoffroy avait créé ce nouvel ordre des marsupiaux dans la classe des mammifères, lié au « marsupium » ou bourse ventrale protégeant les glandes mammaires situées au fond de cette poche cutanée abdominale. Du seul genre répertorié par Linné et issu des Amériques -le genre didelphe signifiant « à deux matrices » puisque le développement embryonnaire est utérin puis extra-utérin- Geoffroy en augmenta considérablement la diversité par ceux originaires des Indes et de l'Australie (Geoffroy, 1838, p. 629). Il connaissait donc bien les deux groupes de vertébrés qui faisaient litige entre Blainville et Valenciennes en 1838. Dans l'introduction de cette communication Geoffroy Saint-Hilaire reproche implicitement à Blainville²²² de s'être approprié ses travaux de 1796 sur les marsupiaux et d'avoir voulu modifier les noms et la hiérarchisation «et l'on

²²² Blainville a augmenté le nombre de divisions de la classification initialement réorganisé par Cuvier, en lui succédant à la chaire d'anatomie comparée du Muséum en juillet 1832. De quatre grands types ou embranchements il passe à cinq. Des quatre classes de l'embranchement des vertébrés il passe à sept classes. Et pour la classe des mammifères, il la subdivise en trois sous-classes qu'il préfère nommer successivement « monodelphes, didelphes et ornithodelphes » (Flourens, 1860, p. XXXIV). Blainville voulait effectivement remplacer le niveau hiérarchique et le nom de marsupiaux proposés par Geoffroy Saint-Hilaire. Mais il voulait initialement s'opposer à la logique de classification des mammifères par Cuvier. Dans son ouvrage d'ostéologie générale, Cuvier divise les mammifères principalement selon leur dentition et leur régime alimentaire –ruminans, carnassier, rongeurs et édentés-(Cuvier, 1834, pp. 477-488). Les marsupiaux tels les Sarigues appartiennent au groupe des carnassiers insectivores tandis que les échidnés et les ornithorynques appartiennent au groupe des édentés.

inventait que des titres pour les rallier sous des enseignes différentes, mais purement nominales : on les disait des sous-classes, noms que Linné s'était interdits » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1838, p. 630). Blainville s'opposait au rapport premier de division de la classe des mammifères choisi par Cuvier, exclusivement basé sur le squelette, et non sur les tissus qu'il déterminait comme caractéristiques primordiales (Comte, 1838/1908, pp. 262-263). De toute façon en maintenant les marsupiaux ou didelphes dans la classe des mammifères il détourne la pensée directrice de Geoffroy. Celui-ci voulait faire des marsupiaux une classe différenciée des mammifères²²³ qu'il appelleraient « marsupiaire ». Par rapport au fossile de Stonesfield il crédite la détermination de Valenciennes comme marsupial, mais il ne veut pas remettre en cause pour autant la loi générale des mammifères dans les terrains tertiaires. Il suffit que les marsupiaux ne soient plus considérés comme des véritables mammifères et la conformité à la double loi stratigraphique et zoologique est retrouvée

« Les marsupiaux pris mal à propos pour des mammifères, auraient rompu une magnifique généralisation, et fait dire aux géologues que de tels prétendus mammifères ayant été trouvés dans les champs oolithiques, ces terrains de seconde formation, ce n'était plus un fait reconnu de l'âge de la Terre, celui constant et sans exception, que les mammifères existeraient uniquement dans des couches de troisième formation » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1838, pp. 630-631).

Les raisons qu'ils évoquent dans sa communication démontrent la posture progressionniste de Geoffroy du point de vue théorique. Des découvertes de fossiles de sauriens se sont multipliées dans les couches du secondaire. Et de nouvelles découvertes de fossiles de marsupiaux restent exceptionnelles dans ces mêmes couches – un fossile découvert récemment à Storetonhill en Grande-Bretagne dans la couche est identique en tout point à celui découvert en 1824 à Hildburghausen en Allemagne. Il s'enthousiasme sur la possibilité d'entrer alors dans des considérations théoriques générales

« Il va rester vrai, comme avant ces scènes de perplexité, qu'il n'y a point et que probablement on ne trouvera point de mammifères dans les entrailles de la terre où gisent les antiques êtres crocodiliens et tous leurs analogues [...] aux choses géologiques d'éprouver le sommeil d'un ou de plusieurs siècles, et d'en venir à reprendre l'ancien courant lors d'un jour providentiel à cet égard, nous serions arrivés, après l'ensevelissement des espèces de notre classe marsupiaire, à ce point de la nature reprenant sa loi de continuité dans la suite des phénomènes de l'animalité, phénomènes qui auraient repris avec extension et avec l'admirable progrès essentiel à l'échelle animale. Il n'y aurait plus eu à cette reprise que des prétendus mammifères se développant et s'arrêtant dans l'état d'embryon, comme c'est le cas des êtres de la classe des marsupiaires, mais tout au contraire c'eût été remplacé par des êtres avancés d'un large degré dans l'échelle animale » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1838, p. 632).

²²³ Geoffroy Saint-Hilaire voulait réunir dans la classe des « Marsupiaires » de nombreux genres dont les genres d'Ornithorynque et d'Echidné (1838, p. 630)

Ces animaux extraordinaires par leur anatomie composite –reptilienne et mammalienne- sont aujourd'hui classés dans l'ordre des Monotrèmes de la classe des Mammifères. Cet ordre regroupe des mammifères pondant des œufs et allaitant leurs petits. L'oviparité est accompagnée de couvaion chez les Ornithorynques alors quelle est assortie d'une incuation dans une poche ventrale chez les Echnidnés. La terminologie de monotrème aurait été créée en 1838 par Charles Lucien Bonaparte. Selon les vues phylogénétiques actuelles de filiation des mammifères, les monotrèmes auraient divergé très tôt du groupe des thériens –qui portent leur petits, non ovipares- divisés ultérieurement en marsupiaux et placentaires (source wikipédia)

Sa logique explicative est clairement continuiste et progressionniste avec cette idée de série animale qu'il explicite par une « loi de continuité », « une suite de l'animalité » ou encore « un progrès essentiel à l'échelle animale ». Et l'idée avancée de remplacement de la classe des marsupiaux par la classe des mammifères d'un degré supérieur préfigure une logique transformiste. La classe des « marsupiaux » n'aurait été qu'une étape dans la progression des faunes à la surface de la Terre et elle aurait été remplacée par les mammifères. Il évoque « un rang très reculé dans la série des âges, appartenant à la jeunesse de l'animalité » (ibid. p. 629). Ainsi pour Geoffroy les reptiles caractériseraient le Jurassique, les marsupiaux apparaîtraient au crétacé²²⁴ et les mammifères au sens strict seraient cantonnés dans les terrains tertiaires. Ainsi tout rentre dans l'ordre répondant à la loi de continuité, le « cours de l'animalité en marche de développement » (ibid.) qui fait que reptiles, marsupiaux, et mammifères se sont enchaînées dans la succession des âges géologiques. Cette pensée est inspirée de l'échelle des êtres de Lamarck mais Geoffroy y intègre en plus les fossiles et leur position stratigraphique.

Les doutes répétés de Blainville et son nouvel argumentaire dans sa seconde communication accompagnée d'un complément de réclamation à l'Académie des Sciences les 22 et 29 octobre 1838

Un différent oppose nettement Blainville à Geoffroy Saint-Hilaire sur la nature du savoir scientifique puis sur la communication de ce savoir scientifique. Il transparaît à plusieurs reprises dans cette seconde communication assortie d'une réclamation.

Il évoque **un abus de pouvoir institutionnel au sein de l'Académie dans la gestion des communications**. Selon les propos de Blainville, l'autorité de Geoffroy Saint-Hilaire, en tant que président de cette institution en 1833, ne devrait pas servir à dévier le débat de ses finalités premières pour servir des vues individuelles d'opinion. Et cette même autorité ne devrait pas abusivement restreindre le droit à une parole contradictoire dans le respect de l'assemblée scientifique. En effet Geoffroy Saint-Hilaire attendant son tour de parole pour la lecture d'un mémoire s'était opposé à ce que s'éternise le débat « dans la crainte que la discussion se prolongeât et ne tombât dans des détails infinis » (Blainville, 1838c, p. 750). De plus il y avait sans doute en jeu un poste vacant dans la section de zoologie et d'anatomie à cette époque et Blainville fait allusion à une personne de son choix. Enfin il réclame que l'honnêteté et la fiabilité des comptes rendus nécessitent l'accord des divers participants à la discussion avant impression (ibid., p.751).

²²⁴ Geoffroy Saint-Hilaire conclut sa communication par « l'apparition des marsupiaux à l'époque énormément reculée où se formaient les premières strates de la craie » (1838, p. 633). Nous avons traduit par la période du Crétacé qui est en accord avec son idée de série progressive sur l'échelle des temps géologiques. Mais les spécimens ont été découverts dans les strates calcaires de la période du Jurassique.

Outre ces dysfonctionnements regrettables il discute surtout **la validité de la vérité scientifique appuyée plus ou moins fortement sur un registre empirique ou sur un registre théorique**. En effet dans la communication précédente Geoffroy Saint-Hilaire engageait le débat à un niveau théorique, voulant conforter par cette étude de cas, la loi du progrès des faunes au cours des temps géologiques. Mais Blainville se refuse de poursuivre dans cette voie et il critique rudement la méthode employée par son adversaire et confrère renommé

« Dans les questions scientifiques en général, et spécialement dans celles dont la résolution dépend de déductions logiques tirées de comparaisons nombreuses et délicates, j'ai toujours pensé que quelque rang qu'on occupât dans la science, il ne suffisait pas d'émettre une opinion sur un sujet de discussion, l'eût-on même formulée sous une nouvelle dénomination, ou décorée du titre de loi, mais qu'il fallait exposer les raisons sur lesquelles on la fondait » (Blainville, 1838b, p. 727).

Il accuse donc Geoffroy Saint-Hilaire de s'engager dans des vues théoriques qui le séduisent et de masquer par des nouveaux noms l'absence de vérifications empiriques préalables, minutieuses mais fastidieuses. Blainville oppose à son opinion singulière une pluralité de raisons qu'il appelle « les bases » ou « les preuves de sa conviction ». Il lui reproche ainsi d'avoir fait « plus ou moins le sourd et quelquefois l'aveugle » car effectivement Geoffroy dans son intervention ne fait part à aucun moment des arguments de Blainville et ne le cite jamais. D'après ce dernier il aurait été jugé sans même avoir été lu, et de plus il met en doute les compétences de son adversaire qui pourrait même ne pas « savoir lire les pièces du procès » (ibid., p. 728). Geoffroy Saint-Hilaire aurait arbitrairement accordé pleinement sa confiance à Valenciennes. Ce en quoi il ferait preuve d'un professionnalisme léger au sein de la communauté scientifique et manque « de respect que l'on doit au public [...] respect pour la compagnie devant laquelle on a l'honneur de parler, de l'intérêt que l'on porte à la science et de l'estime que l'on fait de ceux-mêmes dont on combat les opinions » (ibid.).

Blainville choisit donc consciemment **un terrain de discussion portant essentiellement sur le registre empirique** qu'il tient à conserver car il reflète selon lui au mieux la validité d'une posture scientifique. Il rappelle avoir volontairement engagé cette discussion initialement sur ce registre puisqu'il construisait son argumentaire ainsi et qu'il sollicitait en ouverture dans sa conclusion « le secours d'observateurs habiles qui avaient ces fragments fossiles en leur possession ou à leur disposition » (ibid.). C'est pourquoi successivement il va reprendre uniquement les arguments empiriques, en lien avec l'identification de cinq spécimens fossiles, apportés par ses trois protagonistes directs, Agassiz, Valenciennes et Duméril. Blainville insiste sur **deux difficultés liées aux études paléontologiques qui rendent même délicate la validité du registre empirique**, la notion de fossilisation partielle et la fiabilité de la loi de corrélation des organes. D'une part les échantillons fossiles incomplets expliquent en partie l'incertitude d'identification. Il rappelle en effet que les mâchoires sont pour la plupart tronquées ce qui relativise les assertions portées à leur sujet. De plus certaines mâchoires sont tellement emprisonnées dans la roche que leur observation est « confuse ». En conséquence un des arguments fondamentaux qu'il avance porte sur les lignes de sutures de la mâchoire,

présentes du vivant de l'animal et perdues par la fossilisation « les mâchoires fossiles de Stonesfield pourraient avoir été composées et les traces en être effacées » (Blainville, 1838c, p. 750). Ce qui renverserait la détermination du fossile. D'autre part il souligne la relativité du principe d'anatomie comparée « une foi trop absolue dans l'assertion, un peu ambitieuse peut-être, qu'à l'aide d'un seul os, d'une simple facette d'os, on peut reconstruire le squelette d'un animal, et par conséquent en déterminer la classe, l'ordre, la famille, le genre et même l'espèce » (Blainville, 1838b, p. 732). Blainville reprochera toujours cette affirmation en dénigrant même l'ensemble des travaux de son illustre collègue Cuvier dans une biographie qu'il fit à la fin de sa vie « M. G. Cuvier a passé une vie active assez longue, dans un lieu abondant en ossements fossiles, sans avoir établi d'autre principe qu'une plaisanterie qu'il n'a pu prendre au sérieux lui-même un moment que parce qu'il n'avait pas encore approfondi ou étudié suffisamment la science de l'organisation » (Blainville, 1890, p. 417). Quelle exagération même s'il est vrai que Cuvier tirait gloire de sa brillante méthodologie de corrélation des organes et qu'il avait pu l'exagérer pour le grand public (Bourdier, 1960, p. 30). Nous retenons une de ses formules un tant soit peu provocatrice pour cette méthodologie rigoureuse et novatrice qui leva la difficulté de reconstitution des fossiles incomplets de grands vertébrés « une seule dent m'a pour ainsi dire tout annoncé » (Taquet, 2001, p. 270). Pour Blainville sa validité était forcément limitée pour les espèces disparues et fort différentes des espèces connues actuelles

« l'assertion citée plus haut, quoique presque passée dans le langage vulgaire, juste jusqu'à un certain point, quand on l'applique à des animaux connus ou fort peu différents de ceux qui le sont, devient exagérée et même tout à fait décevante, lorsqu'il est question de formes nouvelles et plus ou moins insolites, soit récentes, soit fossiles, comme cela sera mis hors de doute par suite de mon grand travail paléontologique » (Blainville, 1838 b, p. 732).

Nous comprenons combien la limite de validité du principe de Cuvier paraît justifiée dans cette première moitié du XIX^e siècle où les découvertes de fossiles de dinosaures et autres grands reptiles disparus extraordinaires se sont multipliées. Pour les espèces récentes étranges sans doute fait-il allusion aux marsupiaux et monotrèmes dont la découverte résulte de la même période. Les naturalistes prennent conscience de la diversité des vivants actuels et passés qu'ils sont loin d'avoir recensée d'une façon exhaustive. Dans ce sens Blainville revient avec insistance sur ce point, clé de voûte de son raisonnement, le fossile de Stonesfield ne correspond à aucun reptile connu ce qui ne signifie pas pour autant qu'il ne puisse pas appartenir à cette classe des vertébrés.

De plus **la diversité des noms proposés sur le prétendu Didelphe** prouve sans conteste et à juste titre le doute au sujet de ces fossiles « en sorte que la science est déjà embarrassée de quatre ou cinq dénominations pour désigner un être qu'elle connaît à peine, puisque les uns le rapportent aux Mammifères, ceux-ci aux Monodelphes insectivores, ou aux amphibiens, et ceux-là aux Didelphes voisins des Sarigues, ou à un genre représentant les Phoques dans cette sous-classe, suivant l'opinion particulière de M. Strauss, tandis que d'autres en font un Saurien ou même un poisson » (Blainville, 1838b, p. 735). Les noms se succèdent :

« Amphigonus » par Agassiz, « Heterotherium ou Amphitherium » par Blainville lui-même, « Thylacotherium » par Valenciennes, et « Botheratiotherium » par un scientifique anglais dont nous reparlerons. Ces différents noms d'ailleurs valident l'hypothèse d'un « animal sauvage » proche des mammifères d'après le suffixe grec « therium ». Et la variété des préfixes associés marque la détermination²²⁵ énigmatique pour la plupart des naturalistes.

Les courtes répliques de Duméril à la suite des interventions de Geoffroy Saint-Hilaire le 24 septembre 1838 et de Blainville les 22 et 29 octobre 1838

Duméril peut se positionner en tant que spécialiste des reptiles. Et dans sa première réponse à Geoffroy Saint-Hilaire il ne retient qu'un seul argument empirique positif, la présence d'un condyle spécifique des mammifères et un seul argument empirique négatif, l'absence de suture formant l'os de la mâchoire. Il invalide du même coup l'hypothèse de reptile saurien émise par Blainville et l'hypothèse d'isolement des marsupiaux de la classe des mammifères suggérée par Geoffroy Saint-Hilaire. Devant la persistance de Blainville il conforte sa détermination en augmentant le nombre de critères anatomiques spécifiques des mammifères et différents des reptiles. Les interventions de Duméril apparaissent chaque fois comme des certitudes indiscutables qu'il appuie d'adverbes à caractère définitif « la branche de la mâchoire fossile [...] n'a *jamaïs* pu appartenir à un reptile, mais *très positivement* à un mammifère dont les dents étaient tranchantes » (Duméril, 1838). A la fin du débat Duméril maintient fermement ces positions, « persiste dans son opinion et dans toutes ses assertions » (Blainville, 1838c, p. 751). Impossible de déceler sa posture théorique à partir de ces trois courtes interventions qui restent sur le registre empirique.

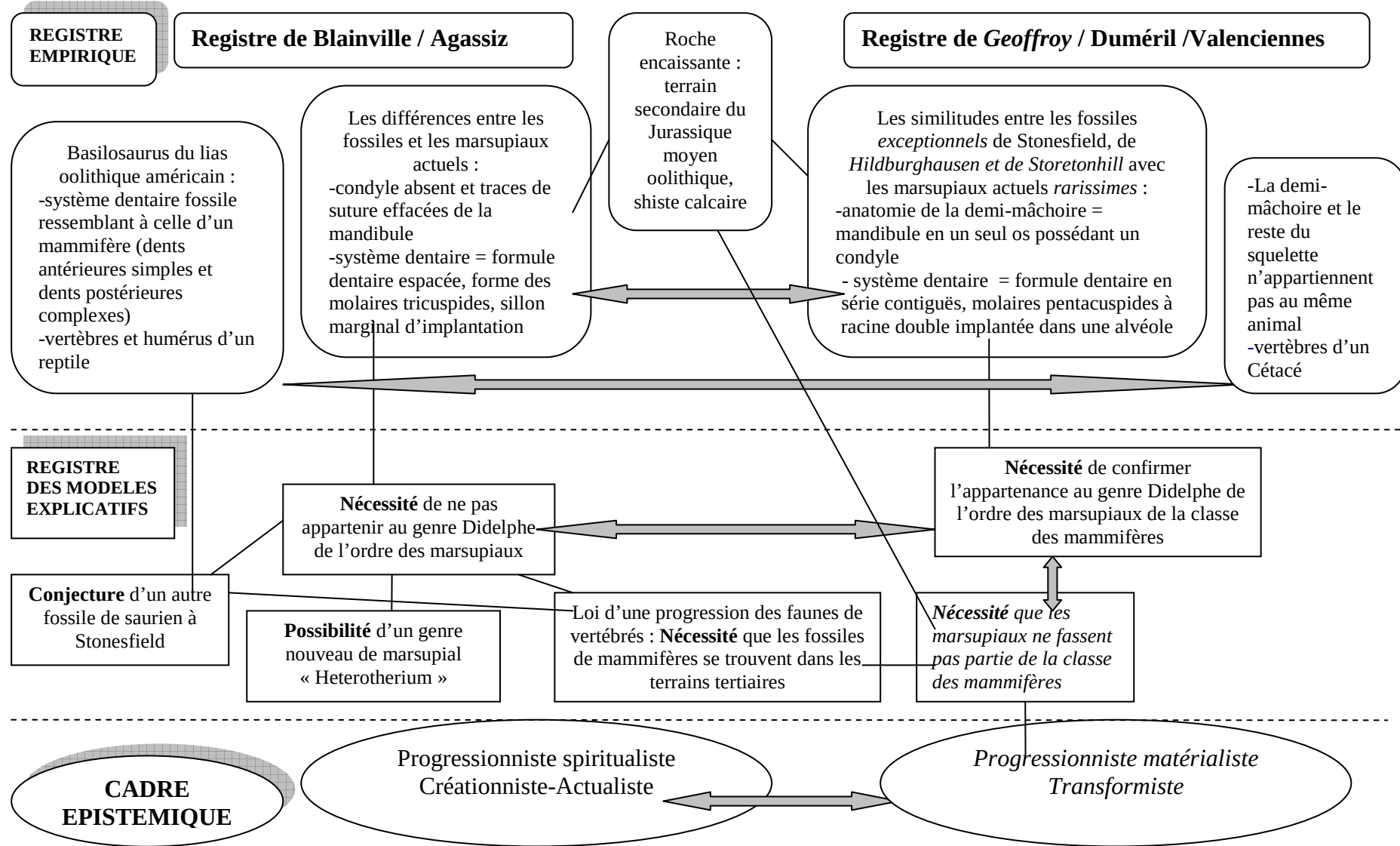
Schématisation d'un espace de contraintes et de possibles de la controverse, synthèse des discussions à propos des prétendus Didelphe de Stonesfield

Nous avons donc **deux camps bien distincts selon le point de vue scientifique envisagé** mélangeant la jeune et l'ancienne génération de naturalistes. Considérons tout d'abord de les situer par rapport à l'identification du fossile. D'un côté Blainville et Agassiz ne valident pas un fossile de mammifère marsupial et le premier validerait même un fossile d'ancien reptile, voire même de poisson. Alors que de l'autre côté, Valenciennes, Duméril et Geoffroy Saint-

²²⁵ -Amphi : en grec exprimant l'idée d'une double possibilité et Gonos : eu grec signifiait « génération » ; ce qui signifie la reproduction par oviparité comme les reptiles ou par viviparité comme généralement les mammifères
-Hetero : du grec heteros signifie « autre » insiste sur la différence avec les animaux référents actuels
-Thylacos : en grec signifie « bourse, sac ou poche » validerait le groupe des marsupiaux
-Quant au préfixe anglais « botheratio » il provient de « bother » qui signifie « tracas ». Mais il est aussi surprenant de ne prendre que « both » qui signifie « les deux » !

Hilaire valident un fossile d'ancien mammifère et/ou de marsupial. C'est ce premier critère que nous avons utilisé pour structurer le schéma de l'espace de contraintes et de possibles. Nous avons donc retenu l'ensemble des arguments pertinents par rapport à la problématique de validation d'une identification des fossiles de Stonesfield -empiriques, explicatifs et théoriques de tous les protagonistes. Des contraintes et des possibles sont pris en compte et nous ont permis de clarifier les consensus, les corrélations et les tensions principales de désaccord. Signalons que les cadres épistémiques sont donnés d'emblée dans ce schéma mais qu'ils n'auront été décelés que par la suite, par le biais d'autres textes analysés que ceux de l'Académie des Sciences de 1838, comme nous le montrerons.

Schéma N° 33 : **ESPACE DES CONTRAINTES ET DES POSSIBLES** de la controverse de 1838 à propos des fossiles de Stonesfield



Ce schéma met en valeur **les seuls points consensuels** de la communauté scientifique discursive. L'un appartient au registre empirique : désormais tous acceptent le positionnement stratigraphique des fossiles énigmatiques dans les strates du Jurassique. Rappelons que c'était la première solution émise par Prévost pour ne pas remettre en cause la loi consensuelle, deuxième point de notre organigramme (Prévost, 1825). L'intervention d'une autorité savante minéralogique²²⁶ et la découverte de cinq mâchoires au total ne permettaient plus le doute en 1838. L'autre consensus, la loi de progression des faunes de vertébrés, appartient au registre des modèles explicatifs. Elle fut déterminée antérieurement par l'accumulation des gisements fossilifères et leur ordre stratigraphique corrélé avec la diversité des faunes disparues. Cuvier parlait de « lois empiriques qui deviennent presque aussi certaines que les lois rationnelles, quand elles reposent sur des observations assez répétées » (Cuvier, 1834/1999, p. 70). La loi de progression des faunes en faisait partie et Cuvier n'accorde que peu d'importance aux petits fossiles de vertébrés « le petit nombre (de mammifères terrestres de la famille des didelphes) que l'on allègue ne forme qu'une exception sans conséquence » (ibid., p.74). Son statut en 1838 est donc de nature théorique et jusqu'alors il n'avait pas été remis en cause. La nécessité de ne trouver les mammifères fossiles que dans les terrains du tertiaire était communément admise. Elle était hors du champ de questionnement des naturalistes.

Or cet instant de controverse schématisé met en valeur **les points nombreux de désaccords** auxquels aurait pu appartenir cette loi dont cette discussion éprouve la résistance et qui semble épargnée. Les désaccords effectifs sont marqués par les doubles flèches grisées. Cette loi sert de point d'ancrage à deux raisonnements différents mais qui veulent la cautionner. Ce qui met bien en valeur la notion de contrainte théorique sur les modèles explicatifs. Tout d'abord pour chacun des deux camps les raisons divergentes se construisent sur un **registre empirique orienté différemment** en comparant les deux mâchoires fossiles de Stonesfield avec les mammifères marsupiaux actuels : soit en recherchant les différences comme Blainville et Agassiz, soit en recherchant les similitudes comme Duméril, Valenciennes et Geoffroy Saint-Hilaire. Et c'est la démarche inverse avec la mâchoire du fossile présumé de reptile. Il est intéressant de noter que même le registre empirique est à nouveau remis en cause successivement soit pour répondre à une rigueur scientifique de vérification des données de terrains soit pour conforter la théorie défendue. D'abord **Valenciennes** remet en cause les observations faites par Blainville uniquement à partir des données indirectes telles les dessins imparfaits des demi-mâchoires ainsi que le prétendu lien entre le squelette et la mâchoire du *Basilosaurus* de Philadelphie. Il déstructure ainsi tout le sous-bassement empirique sur lequel Blainville fondait son argumentaire. Les dents ne sont pas espacées mais contiguës, leur forme n'est pas tricuspidés mais pentacuspides. Surtout il se focalise sur deux particularités de la mandibule –présence d'un condyle et un os en une seule partie- qui constituent des

²²⁶ William Fitton, géologue et médecin anglais du XIX^e siècle, valide la formation géologique dans laquelle est insérée la mâchoire de Didelphe.

caractères primordiaux par rapport à la forme des dents. **Blainville** réplique à son tour en s'appuyant cette fois d'une part sur des sources bibliographiques précisément consultées et d'autre part sur les moulages coloriés, effectués à partir des échantillons fossiles originaux apportés par Buckland lors d'un voyage à Paris. D'après les références bibliographiques de Grant²²⁷ et d'Agassiz, ceux-ci le soutiennent dans l'invalidation d'un mammifère pour le premier ou dans l'invalidation d'un marsupial pour le second (Blainville, 1838b, p. 730). D'après l'examen attentif des moulages de *D. Prevostii* et de *D. Bucklandii* ayant augmenté la collection paléontologique du Muséum de Paris, Blainville reconnaît plusieurs erreurs. D'une part il admet l'inexactitude du dessin de *Prevost*. Cependant il ne voit pas de condyle²²⁸ mais une « sorte d'échancrure articulaire, un peu comme dans les poissons », il repère un sillon marginal et des racines adhérentes à la mâchoire. D'autre part Blainville estime que Valenciennes a considéré le deuxième spécimen à l'envers confondant mandibule droite et gauche, ce qui induit une inversion entre les faces interne et externe. De ce fait à la place d'un canal dentaire, il voit une fosse du muscle masséter. Il ne repère ni condyle ni apophyse mais par contre un sillon marginal. Enfin **Duméril** convoque de nouveau ce critère en rapport avec l'implantation dentaire. Contrairement à Blainville qui voit un sillon marginal, il repère lui des alvéoles séparés pour chaque dent isolée et à double racine, typiques des mammifères contrairement aux reptiles actuels. Nous avons l'impression qu'ils n'ont absolument pas affaire aux mêmes échantillons !

Et **de ce registre empirique divergent découle nécessairement deux modèles explicatifs divergents en miroir l'un de l'autre**. Car la divergence de classification s'accompagne d'une divergence de méthodologie scientifique à considérer. Si les différences avec les mammifères actuels sont considérées, alors une nécessité de réfutation est construite. En parallèle si les ressemblances avec les reptiles fossiles disparus sont considérées, alors une conjecture se construit pour valider un autre reptile inconnu dans les terrains du secondaire. Blainville n'en construit pas une nécessité car il évoque aussi la possibilité d'un autre genre de marsupial. Même s'il penche plus vers la validation d'appartenance des fossiles de Stonesfield au groupe des Sauriens voire même au groupe inférieur des Poissons. Ce qui aurait l'avantage de ne pas remettre en cause la loi de progression qu'il paraît admettre « ce qui, soit dit en passant, semble être beaucoup mieux en rapport avec l'âge et la nature géologique de la formation qui contient les restes fossiles en question, ainsi qu'avec les corps organisés qui les accompagnent » (Blainville, 1838b, pp. 735-736). Par opposition si les

²²⁷ Grant est professeur d'anatomie comparée à l'Université de Londres ; il aurait « professé la même opinion » que Blainville dans son cours de 1838 et en aurait donné les raisons mais Blainville ne donne pas de précisions sur les dites raisons.

²²⁸ Concernant le premier fossile découvert de petit mammifère, *D. Prevostii*, le condyle, apophyse postérieure de la mâchoire inférieure, est une partie manquante de l'os fossilisé. C'est par l'empreinte sur la pierre qu'il a été déduit mais « on la voit très-distinctement » (Lyell, 1843, p. 377). Blainville peut-il avoir utilisé cette différence de fossilisation ?

ressemblances avec les mammifères actuels et la corrélation douteuse entre la mandibule du Saurien de Philadelphie et les restes du squelette affilié plutôt à un mammifère Cétacé sont considérés, alors une nécessité d'appartenir au groupe des mammifères est construite par Duméril et Valenciennes. Mais ceux-ci ne se positionnent pas pour déstabiliser la loi de progression. Par contre Geoffroy Saint-Hilaire centre son raisonnement sur celle-ci. Et lorsqu'il met en tension la loi de progression, qu'il prend comme garantie, avec l'appartenance aux marsupiaux démontrée empiriquement par ses collègues, il se voit contraint de modifier la classification afin de soutenir cette contrainte théorique. Etant seul à défendre ce point de vue, cette nécessité est mise en italique dans le schéma.

Il nous est difficile à ce stade de la controverse et avec les seuls échanges à l'Académie des sciences de Paris –dans un court laps de temps finalement du 20 août 1838 au 29 octobre 1838- de déterminer les fondements des modèles explicatifs respectifs des protagonistes. Seul Geoffroy Saint-Hilaire s'est exprimé clairement sur sa vision progressionniste qu'il intégrerait dans un cadre transformisme à confirmer. Et Blainville, qui semble tout vouloir remettre en doute, a une posture paradoxale vis-à-vis de la loi de progression : en première communication il se dit prêt à la voir réfutée par de prochaines découvertes fossiles et en dernière communication il s'y réfère. A l'analyse de ces échanges nous pourrions le qualifier tout de même d'une pensée progressionniste dans la mesure où il semble admettre une série de faunes progressives en corrélation avec une série stratigraphique. Mais pour s'en assurer et compléter notre espace de contraintes et de possibles au niveau des cadres épistémiques, nous devons analyser d'autres écrits des principaux protagonistes, Blainville et Geoffroy. Car derrière cette loi de progression des vivants quels cadres épistémiques divergents se dissimulent de part et d'autre des deux camps de la controverse à première vue empirique ?

11. 3.3 Des cadres épistémiques effectivement antagonistes liés au poids accordé aux caractères différents par rapport aux caractères ressemblants

Nous allons montrer que la controverse se situe bien à un autre niveau, le fondement explicatif ou le cadre épistémique. Au-delà de la question de la classification des fossiles de Stonesfield, se profile en arrière-plan le véritable problème qui divise la communauté scientifique « ce problème de l'ordre successif ou simultané des êtres créés est assurément, dans le domaine de l'histoire naturelle, le plus grand que le génie des hommes ait jamais conçu » (Flourens, 1860, p.XXI). Sans conteste, **les deux chefs de file de cette controverse** sont les deux académiciens renommés, Geoffroy Saint-Hilaire et Blainville par **les deux cadres épistémiques qu'ils défendent** alors qu'ils travaillent sur le même matériel scientifique. D'ailleurs Geoffroy Saint-Hilaire l'avait bien exprimé l'année précédente à propos d'un autre fossile problématique de l'Himalaya

« Car nous raisonnons l'un et l'autre sur des documents les mêmes, et qui consistent en quatre figures. D'où vient cette dissidence sur des faits aussi positifs ? [...] ce n'est point une rencontre d'émules dans

une lutte personnelle, ce ne sont point deux naturalistes qui se heurtent, mais deux systèmes, lesquels ont des principes opposés, et dont le débat peut amener une conciliation, une autre conception » (Geoffroy, 1837c, p. 114).

Cet académicien pouvait même être très dur à l'encontre du camp adverse dénonçant des privilèges usurpés qui ne répondaient plus au service des progrès de la science. Tel un règlement de comptes, voici une de ses sentences les plus révoltées

« Ainsi voilà deux classes de naturalistes, les uns stationnaires ou même rétrogrades, qui prêchent le danger des innovations, et qui sont récompensés de leurs faciles efforts par toutes les faveurs des pouvoirs publics et les applaudissements de la multitude ; la médiocrité est convié à ce festin. Opposez à ces favoris de la fortune ces hommes de conviction et de labeurs infatigables, aux physionomies souffreteuses, que ne détournent ni les atteintes de la misère, ni les désignations et qualifications outrageantes qu'encourt un novateur » (Geoffroy, 1837c, p. 115).

Nous pouvons supposer qu'il fait référence à Lamarck dont les idées ont été si méprisées par Cuvier au point même que celui-ci fit un éloge déplacé et refusé par ses pairs et la famille de Lamarck. Démêler les différentes influences qui ont permis de comprendre l'histoire des vivants sur Terre, n'est pas toujours aisé. Les frontières et les interférences peuvent être délicates à cerner entre les conceptions continuistes expliquant l'histoire de la Terre – actualistes, uniformitaristes, gradualistes- s'opposant au catastrophisme et en parallèle, entre les conceptions expliquant l'histoire de la vie –directionnalistes, progressionnistes, transformistes, évolutionnistes- s'opposant au fixisme ou stationnarisme, et enfin entre les conceptions expliquant l'origine des êtres vivants –créationnistes ou transformistes²²⁹. Nous avons tenté cette analyse en pointant dans les échanges de 1838 entre Blainville et Geoffroy et en élargissant l'étude à d'autres écrits, au mieux portant sur cette même période. Il 'est pas toujours facile de clarifier la position de chaque protagoniste. D'autant plus, comme nous l'avons vu chez Lamarck, un changement de cadre peut s'effectuer : rompant avec la pensée fixiste Lamarck devient transformiste à partir de 1801-1802 (Tirard, 2006).

Un cadre épistémique en pleine conversion, une création unique des séries animales progressives de Blainville

Ayant conscience de la très haute importance de la détermination de ces fossiles du secondaire et de l'enjeu pour la connaissance paléontologique, **Blainville reste très prudent en évoquant les cadres théoriques différents**

²²⁹ Notons que les interprétations des cadres épistémiques peuvent être très divergentes et parfois délicates à effectuer. Par exemple Louis Agassiz est qualifié d'évolutionniste par Bourdier (1967, p. 22) alors qu'il est qualifié de fixiste cuviérien convaincu par Tassy et Cohen (1997) et de multicréationniste devenu le leader américain de l'opposition à Darwin (Lurie, 1970). L'ambiguïté peut porter sur les expressions contraires qu'il emploie telles « développement graduel et progressif », « souche » et « filiation » qui s'opposent aux « créations de plus en plus semblables à l'actuel ». De même Bourdier remarque que le lecteur de l'ouvrage de paléontologie de Marcel de Serres, *Du perfectionnement graduel des êtres organisés (1851-1852)*, aurait du mal à décoder que l'auteur fut fixiste (1967, p. 21). Un dernier exemple, Georges Cuvier est qualifié à tort de multicréationniste par C. Allègre et P. Tort (Gohau, 2005, Analyse d'ouvrage de Claude Babin, *Autour du catastrophisme Des mythes et légendes aux sciences de la vie et de la terre*. In *Travaux du COFRHIGEO*, 3^e série, n°10, p. 174).

« En effet, suivant que les restes fossiles auraient appartenu à un mammifère terrestre, ou aquatique, monodelphe ou didelphe, ou bien à un reptile ou un poisson, telle ou telle théorie de l'ordre de formation, ou de création, ou d'apparition, des espèces animales à la surface de la terre, celle du développement graduel et insensible dans la complication de l'organisation des animaux, généralement admise sans preuves suffisantes, se trouverait infirmée ou confirmée » (Blainville, 1838 c, p. 750).

Apparemment il ne semble pas prendre parti plus pour un ordre de création que pour une loi de la complication concernant la succession des espèces animales sur la Terre. Il relativise la création en générant une synonymie avec formation ou apparition. De même il relativise le développement graduel en exigeant des preuves plus tangibles. Dans sa communication précédente il disait être ouvert à toute solution démonstrative d'une théorie « quelle qu'elle soit, peu importe, pourvu qu'elle soit assez complète pour être adoptée, sinon généralement, du moins par tous ceux qui, dans les questions scientifiques, ont le bonheur d'avoir le temps et le pouvoir de juger sans prévention, mais aussi avec connaissance de cause » (Blainville, 1838b, p. 735). C'est sans doute une nouvelle critique implicite sur les préjugés de Geoffroy Saint-Hilaire fort occupé par ses hautes fonctions.

Par déduction des attaques de Geoffroy Saint-Hilaire nous pouvons aussi cerner la pensée de Blainville. Par exemple Geoffroy associe très nettement Blainville à Cuvier et à son courant de pensée fixiste dont il dénonce l'autoritarisme désormais rétrograde des descriptions anatomiques et des classifications

« il faut en venir à débayer les routes des fausses données qui les encombrant, principalement des idées qui ont long-temps régné avec autorité, et qui aujourd'hui ne doivent plus être considérées que comme autant de préjugés fâcheux. Or, dans ce nombre je place d'abord les règles actuelles des classifications, celles qui se fondent sur la croyance que la nature a pris un soin extrême à empêcher l'altération des espèces, à maintenir fixes les formes dans les êtres organisés » (Geoffroy, 1837b, p. 78).

Il abonde en des termes affiliés à la religion pour dénoncer le principe d'immutabilité des espèces institué par Cuvier -foi, conviction, croyance-, principe qu'il voudrait voir maintenant révolu. Le fixisme admet une variété au sein d'une espèce délimitée et immuable, sans lien entre elles « les espèces perdues ne sont pas des variétés des espèces vivantes » (Cuvier, 1834/1999, p. 79).

Pourtant, mise à part la pensée fixiste, cette association entre Blainville et Cuvier n'est pas vraiment justifiée pour plusieurs raisons. D'une part Blainville s'opposait à la théorie catastrophiste défendue par Cuvier et il peut être qualifié d'actualiste. Il admet l'identité des espèces actuelles et anciennes suite aux conditions de vie similaires ou presque identiques (Blainville, 1837c, p. 820). La stabilité des faunes est corrélée à la stabilité du monde physique. De plus la multiplication des catastrophes, « les révolutions à la surface du globe », induisait nécessairement la multiplication des créations sur Terre pour la plupart des catastrophistes. Ce qui semblait irréel à Blainville, qui défendra par la suite en 1839 une seule création originelle (Gohau, 1979). Notons que Cuvier ne se déclarait pas favorable lui aussi aux créations multiples contrairement à Alcide d'Orbigny qui va les multiplier en excès « lorsque je soutiens que les bancs pierreux contiennent les os de plusieurs genres, et les couches meubles ceux de plusieurs espèces qui n'existent plus, je ne prétends pas qu'il ait

fallu une création nouvelle pour produire les espèces aujourd'hui existantes » (Cuvier, 1834/1999, p. 86). Il préfère évoquer les migrations animales à travers différents détroits nouveaux joignant les continents. C'est donc peut-être à tort que Geoffroy ironise sur le recours de ses collègues à l'omniprésence d'« un Dieu des tragédies grecques, pour démêler des complications poussées à l'extrême » (Geoffroy, 1837b, p. 82). Et d'autre part Blainville gère ensemble la classification zoologique fossile et actuelle selon un principe de continuité d'une série animale. La création a été unique et complète. Il conçoit une série croissante ou échelle des êtres jusqu'à l'homme, tous créés simultanément par le Créateur à l'origine d'un monde harmonieux « cette chaîne d'être assortis, et qui s'adaptent les uns aux autres, implique visiblement un dessein arrêté, un plan suivi, une fin prévue [...] cet assemblage merveilleux de tant de ressorts divers combinés dans des proportions si justes » (Flourens, 1860, p. XIV). Alors que Cuvier avait basé sa classification zoologique sur un principe de discontinuité, séparant les espèces sans suite ni lien les unes par rapport aux autres. En conséquence Cuvier ne conçoit pas d'intermédiaires zoologiques fossiles ou actuels

« si les espèces ont changé par degrés, on devrait trouver des traces de ces modifications graduelles ; qu'entre le *paleotherium* et les espèces d'aujourd'hui l'on devrait découvrir quelques formes intermédiaires, et que jusqu'à présent cela n'est point arrivé. Pourquoi les entrailles de la terre n'ont-elles point conservé les monumens d'une généalogie si curieuse, si ce n'est parce que les espèces d'autrefois étaient aussi constantes que les nôtres » (Cuvier, 1834/1999, p. 79-80).

Au contraire pour Blainville la série animale aurait été créée d'emblée complète avec tous **les représentants intermédiaires afin de constituer une unité du règne animal**. C'est pourquoi il multiplie les groupes et les sous-groupes de la classification zoologique de la faune actuelle. Et dans cette chaîne, il intercale les espèces perdues avec les espèces vivantes. Ceci constitue l'originalité du système que Flourens qualifie de « **doctrine paléontologique de Blainville** ». Par exemple pour l'embranchement des vertébrés il l'organise en sept classes successives -au lieu de quatre chez Cuvier- qui s'enchaînent « des *poissons* aux *amphibiens*, des *amphibiens* aux *ichtyosauriens*, de ceux-ci aux *reptiles*, des *reptiles* aux *ptérodactyles*, des *ptérodactyles* aux *oiseaux*, et des *oiseaux* aux *mammifères* » (Flourens, 1860, p. XXXIV). Les fossiles occupent une place privilégiée d'échelons intermédiaires qui comblent les hiatus, plus spécifiquement ici par les deux classes de reptiles disparues. Il va même plus loin dans sa logique des relations entre fossiles et faunes actuelles « Plus un groupe de mammifères offre de lacunes, de vides entre ses espèces vivantes, plus aussi il compte d'espèces fossiles » (ibid., p. XL). Les ossements fossiles représentent les échelons perdus et conforteraient l'harmonie d'une conception initiale progressive. Il s'est affronté souvent avec Cuvier sur cette idée de groupe intermédiaire (Coleman, 1970, vol.2, p. 187).

Quant aux causes de disparitions successives des espèces fossiles, là encore, il s'oppose à Cuvier en faisant appel à des causes actuelles, ordinaires et lentes.

« cette création, complète au moment où elle sort de la main de Dieu, se *décomplet* ensuite à mesure que les espèces périssent, car chaque race éteinte laisse une lacune ; les causes les plus naturelles, les plus simples, l'action de l'homme, etc. , ont suffi pour détruire les races éteintes, comme elles suffisent chaque jour encore pour détruire, sous nos yeux, les races vivantes ; il n'est donc pas besoin, pour

expliquer ces destructions continues, d'avoir recours à des révolutions générales, extraordinaires, à des *cataclysmes* » (Flourens, 1860, pp. XXXVI-XXXVII).

Nous pouvons cerner en définitive un double objectif à Blainville d'après ces écrits en rapport avec son grand projet d'ostéographie des vertébrés. Du point de vue scientifique, il veut compléter et réorganiser l'ouvrage de Cuvier qui possède des lacunes, dont les insectivores. Il estime devoir tirer profit de la collection unique dont il dispose. Commencée, dit-il, il y a cent ans par Daubeton, enrichie considérablement par Cuvier, il la lui même augmentée. En expliquant son plan et la méthode iconographique choisie, Blainville précise l'amélioration visée par rapport au problème d'actualité de détermination des fossiles de Stonesfield, entre autres

« Quant aux fragments fossiles, qu'ils représentent des espèces analogues ou éteintes, ils seront nécessairement décrits comme ils seront figurés in extensum. [...] en choisissant les variétés d'âges, de sexes et de localités, considérations qui avaient été presque complètement négligées avant moi, et qui seules peuvent cependant fournir les éléments propres à déterminer les limites de variation des espèces, et sont par conséquent d'une haute importance dans les problèmes de palaeontologie. » (Blainville, 1839a, pp. 12-13).

Sans nul doute, il fait- allusion aux didelphes à nouveau

« les palaeontologistes ont été trop souvent entraînés à émettre des opinions erronés ou hasardées, qui ont eu également trop souvent des conséquences fâcheuses pour les déductions géologiques. [...] notre ouvrage, conçu dans le plan d'une série animale, comprendra nécessairement les ossements récents et fossiles connus jusqu'aujourd'hui. [...] combien la considération des racines des dents et de leurs alvéoles peut servir en palaeontologie, où souvent un fragment bien où mal interprété peut conduire à des rapprochements heureux ou malheureux. » (Blainville, 1839a, pp. 5-6).

Il maintiendra le doute sur ce fossile de Stonesfield que « l'on a regardé assez généralement jusqu'ici comme un Insectivore didelphe, sans raisons bien concluantes peut-être » (Blainville, 1839b, Tome 1, p. 110). Pourions-nous corréliser la problématique des didelphes fossiles, la controverse soutenue de 1838 et le déclenchement de ce gigantesque travail que s'était défini Blainville (1839-1864), vu le rapprochement des dates –les échanges à l'Académie des sciences s'arrêtent en octobre 1838 et l'annonce du projet d'*Ostéographie* de Blainville est faite en avril 1839- ? Il n'y répondra pas en définitive car il ne traitera dans son ouvrage que des mammifères insectivores Monodelphes (Blainville, 1839b, Tome 1). Quoi qu'il en soit, sa finalité est de servir une pensée créationniste, qu'il affirme d'emblée cette fois-ci, quelques mois plus tard dans l'annonce de cet ouvrage

« la zoologie constitue une science de la plus haute portée religieuse [...]. Celle même que nous avons nommée la zooclassie, et dont le but est la distribution naturelle des animaux, est peut-être même plus qu'aucune autre dans ce cas, puisqu'il s'agit de lire le plan de l'ordre de la création des êtres les plus élevés, les plus rapprochés de l'homme, de sentir l'harmonie de ces êtres entre eux, comme avec ceux qui forment le règne végétal et même le règne minéral sur lequel ils reposent, et par suite de pouvoir le démontrer aux autres » (Blainville, 1839a, p. 2).

De plus, Blainville veut s'opposer aux idées transformistes et, des années plus tard, dans sa conclusion sur les *Palaeotheriums* d'un volume de son *Ostéographie*, il déclare

« Quoique aucune de ces espèces (de palaeothériums) n'ait certainement été trouvée vivante, nous sommes obligés de conclure qu'il est impossible d'admettre avec certains naturalistes qu'elles puissent être considérées comme une forme primitive de quelques espèces actuelles, qui n'en seraient qu'une

transformation, et encore moins sans doute que celles-ci les aient remplacées par suite d'une création nouvelle, ainsi qu'un plus grand nombre le disent, il est vrai sans de bonnes raisons, puisque nous avons démontré qu'elles remplissent une lacune actuelle dans la série intelligible créée par la puissance divine » (Blainville, 1846, *Palaeothériums*-Tome 4, p. 183)

Plus qu'un lien harmonieux d'unité structurale, les thèses transformistes relieraient les faunes actuelles et fossiles par voie de développement au cours des temps géologiques. Blainville ne peut le concevoir et garde toujours l'espoir de retrouver dans des contrées inexplorées des espèces vivantes analogues aux espèces fossiles.

Sous l'angle biologique et paléontologique nous caractériserions **le système explicatif de Blainville comme une interférence entre trois registres** : un créationnisme –une création unique originelle-, un progressionnisme mais d'ordre spirituel –une série animale progressive continue- et un actualisme –des êtres vivants soumis à un environnement stable-. Et l'originalité du système de Blainville est de concevoir une création complète prédéfinie avec des lacunes actuelles dans la série animale liées aux disparitions définitives d'espèces archivées par les fossiles. C'est une illustration d'un cadre épistémique à plusieurs facettes. Et **l'ambivalence de la pensée de Blainville** peut être remarquée à juste titre entre actualisme et progressionnisme (Gohau, 1979, p. 53), entre espèces fossiles et espèces actuelles (Gohau, 1990b, pp. 320-322). Si les variations de faunes doivent résulter d'une interaction entre le monde organique et un environnement physique changeant, ce que défendra Geoffroy, c'est contraire au principe actualiste. Il préfère remobiliser un schéma ancien d'un monde créé initialement harmonieux qui se détériore. Son système peut être qualifié d' « actualisme rétrograde » ou de directionnalisme négatif (ibid.). Il fut certainement soumis à une double influence : l'idée d'un seul temps de dépôt émise par l'abbé Maupied (ibid., p. 13) ; et l'idée de variations latérales de faciès émise par Constant Prévost qui met fortement en doute les trois mouvements itératifs de la mer défendus par Cuvier (1827). Ce dernier, fondateur de l'actualisme, défendait en 1838-1839 ses thèses sur des formations sédimentaires synchrones à la Société géologique de France (Gohau, 1995a). Donc en parallèle des thèses actualistes, Blainville envisage une unité du règne animal selon une continuité dans l'espace et non pas dans le temps des formes vivantes. L'unité de règne animal introduit l'unité de création qui domine dans la pensée de Blainville en 1839 (Gohau, 1979). Car si les fossiles remplissent les lacunes dans la série des animaux actuels, c'est parce qu'il y a une unité de création de plan zoologique préconçu et harmonieux. Les espèces intermédiaires et les chaînons d'une série animale sont fréquemment évoqués dans ses conclusions d'études des différents groupes de vertébrés de l'*Ostéographie* tels les mammifères insectivores ou les chameaux (Blainville, 1839, tome 1, vol. H, p. 109 & 1850, tome 4, p. 126). Or l'idée d'une création unique est en tension avec les corrélations stratigraphiques et paléontologiques qui ont pour conséquence des époques successives d'apparition des groupes de vertébrés. La position de Blainville est incohérente du point de vue scientifique à cette époque où les géologues construisaient les concepts naissant de stratigraphie paléontologique et ne validaient pas un seul temps de dépôt.

Ce qui ne l'empêche pas d'évoquer à la fois un temps géologique long, une seule époque et des dépôts différents

« depuis deux à trois mille ans, d'après les renseignements historiques, et depuis un temps inapprécié, et probablement inappréciable, d'après les renseignements géologiques, c'est-à-dire depuis l'époque de la formation du diluvium et des terrains tertiaires moyens, les circonstances et milieux propres à entretenir la vie animale à la surface de notre globe n'ont pas changé » (Blainville, 1839, tome 1, vol. H, p. 109).

Belle ambiguïté d'une pensée actualiste mêlée aux dénominations d'époques géologiques. Enfin **la pensée paradoxale de Blainville** est manifeste dans ce débat avec Geoffroy. Pourquoi veut-il descendre avec autant d'insistance le fossile de Stonesfield dans la série animale, en validant un reptile ou un poisson plutôt qu'un mammifère, alors qu'il est partisan d'une création unique ? Reculer l'apparition des mammifères au Jurassique serait plus en accord avec sa pensée actualiste et créationniste. Tout comme Lyell était ravi d'attribuer ces fossiles de Stonesfield au groupe des mammifères, confortant ainsi sa position antiprogressionniste

« on ne saurait trop se mettre en garde contre les généralisations prématurées, lorsqu'elles ne reposent que sur des faits négatifs. Or, si une exception aussi importante à la règle générale semble prouver que, lors de l'accumulation des terrains secondaires, les latitudes européennes ne possédaient qu'un très-petit nombre de mammifères, elle est loin de s'accorder aussi bien avec la théorie du développement progressif » (Lyell, 1843, vol. 1, p. 380).

Lyell, par sa position actualiste, préférerait corréliser la diversité spécifique actuelle en lien avec la géographie, un continent africain riche en mammifères et dépourvu de marsupiaux en comparaison d'un continent australien pauvre en mammifères dont l'ordre des marsupiaux. Nous pouvons émettre des doutes sur les intentions véritables de Blainville et sur ses observations sur le Didelphe fossile fortement orientées par ses supputations théoriques. L'année 1838 de cette controverse correspondrait à une conversion dans la pensée de Blainville. Jusqu'en 1837 il paraissait adhérer au courant progressionniste de la paléontologie stratigraphique et à partir de 1839 il rejoignait l'actualisme de son ami Prévost (Gohau, 1995a, p. 79). L'identité des espèces actuelles et anciennes, et l'identité déduite des conditions de vie lui permettent de nier les créations successives et de rejeter le progressionnisme « matérialiste » dans son *Ostéographie*.

Le cadre progressionnisme, transformisme et épigénisme du développement progressif de Geoffroy

En opposition à Cuvier, nous retrouvons chez Geoffroy Saint-Hilaire certaines idées communes avec Blainville : l'unité de règne animal, les séries animales continues intégrant les fossiles en tant que groupes ou espèces intermédiaires. Il peut être qualifié aussi donc d'une pensée progressionniste en paléontologie. Mais l'explication qu'il donne à la progression des faunes est très différente cherchant des causes rationnelles et non pas divines. Concernant l'unité du règne, c'est **une unité de plan et de composition** des êtres vivants et fossiles – et non pas de plan de création- qu'il concevait. Il la défendait âprement en 1830

contre les quatre plans de Cuvier dissociés complètement – vertébrés, articulés, mollusques et rayonnés- (Piveteau, 1950). A la recherche d'une unité du vivant à tous les niveaux disciplinaires –zoologique, paléontologique, embryologique- Geoffroy Saint-Hilaire défendra à la fin de sa vie une nouvelle philosophie du vivant, **la théorie des analogues** qu'il voulait universelle « C'est que l'ère des ressemblances philosophiques vint à gagner du terrain dans notre France, si puissamment remaniée et mûrie par notre gigantesque révolution. C'est que toute préoccupation exclusive des cas différentiels dut rester une pensée de première étude et de premier âge » (Geoffroy, 1837d, p. 546). Exit Cuvier et ses divisions zoologiques expliquées par des coupures catastrophistes. Geoffroy Saint-Hilaire oriente la recherche scientifique sur deux principes, l'unité de composition et le balancement des organes. Se distanciant du nombre, de la forme et de la fonction des pièces anatomiques, il repère l'analogie par leurs relations ou connexions et il imagine une métamorphose des organes²³⁰ (Piveteau, 1950). Ce caractère primordial général permet de regrouper des espèces analogues fossiles et actuelles. Le terme d'analogie signifie à cette époque non pas une identité mais un lien de parenté entre les êtres vivants. Ce que nous nommons aujourd'hui des homologies. Concernant les séries animales il démontre en 1837, à partir de deux exemples marquants, l'éléphant et la girafe, **la possibilité d'une filiation graduelle entre les groupes fossiles et actuels** (Geoffroy, 1837c). Ils considère deux séries zoologiques qui rendaient compte de la succession synchrone des strates géologiques et de l'organisation zoologique en série comprenant des espèces intermédiaires : celle de l'éléphant –Mastodon, Dicyclotherium, Elephas-, le terme générique intermédiaire désigne le mammoth en réfutant la décision de nomenclature faite par Cuvier d'Elephas primigenus ; et en parallèle celle de la girafe – Sivatherium, Camelopardalis-. Les différences de taille et de forme de la tête n'interviennent pas sur le « type primitif » reconnu par un caractère fondamental, les longues défenses pour la série des éléphants et les cornes osseuses pour la série des girafes. Il conçoit que « tout un monde zoologique suit le cours d'admirables et de progressifs développements » (Geoffroy, 1837b, p. 78) pour expliquer la succession synchrone des faunes paléontologiques et des strates. Le terme de progression acquiert un tout autre sens que chez Blainville : il a une dimension nettement historique et l'idée de développement ou changement comprend la parenté entre tous les êtres vivants actuels et passés. Au sommet de sa carrière ses vues de synthèse s'imposent comme une réforme scientifique nécessaire « non-seulement cela devient possible, mais c'est maintenant d'urgente nécessité, que d'arriver avec fermeté sur l'essence des formes animales et sur l'histoire de leurs modifications lentes et successives, ainsi que ce fut le travail des siècles, sous l'action de changements simultanés dans les milieux ambiants »

²³⁰ Considérons deux exemples. Par connexion, le crâne et les nageoires paires des Poissons correspondent respectivement aux crânes et aux membres des Vertébrés tétrapodes. Plus particulièrement les opercules des branchies des Poissons correspondraient aux osselets de l'oreille des mammifères (Geoffroy Saint-Hilaire, 1824). Et par balancement des organes –ou équilibration des organes- le museau développé de la taupe compenserait sa vue déficiente.

(Geoffroy, 1837b, p. 77). Le milieu joue donc un rôle dans les transformations graduelles des vivants et les causes peuvent être multiples « à la mutation des formes animales », la température, l'oxygène atmosphérique et l'alimentation. Signalons qu'il avait fait l'hypothèse de ce que nous appelons une coévolution aujourd'hui : selon lui l'apparition des dicotylédones aurait pu provoquer les changements d'alimentation des animaux terrestres et par conséquent leur variation (ibid., p. 80).

Mais contrairement à Lamarck qui plaçait cette cause environnementale au stade adulte et agissant sur un temps très long de millions d'années, Geoffroy Saint-Hilaire la concevait au stade embryonnaire et intervenant brusquement. Dans le cadre d'étude en tératologie –étude des « monstruosités »- et de **travaux d'embryologie expérimentale** il démontra la survenue d'anomalies accidentelles appelées aujourd'hui malformations congénitales. Les observations de nombreux organes transitoires – dents des embryons de baleines, d'autruche et de perruche, os composé du crâne fœtal humain semblable à celui d'un poisson- sont des arguments favorables à l'unité de composition (Bourdier, 1959, p. 887). Son objectif était déjà affirmé en 1828 de corréliser ces résultats expérimentaux et la possibilité d'envisager un lien de structure et de parenté entre « les animaux des âges historiques, et vivant actuellement, et les espèces antédiluviennes et perdues » comme l'annonce clairement le titre de ce mémoire

« C'étoit l'unique moyen (expériences sur le développement embryonnaire) de savoir si les organes se modifient, et si, se transformant les uns dans les autres, ils sont pour ce fait une source infinie de diversité, s'ils constituent les élémens de variation des êtres vivans : c'étoit enfin l'unique moyen de répandre quelques lumières sur la question principale de cet écrit, en ce qui concerne les rapports de famille de tous les animaux anciens et modernes » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1828, Tome 17, pp. 222-223)

Il pensait qu'en agissant expérimentalement sur le développement d'un embryon de poulet, il pourrait maintenir le stade poisson ou obtenir un stade intermédiaire mammalien autrement dit faire renaître des espèces disparues (Bourdier, 1972, p. 357). Du même coup plus loin il se positionne aussi contre la théorie de la préexistence des germes et rejette le déterminisme qu'elle comprend en la résumant ainsi

« toutes les générations passées et futures ont été accumulées et créées dans un point impalpable ce qu'on demande que notre imagination accepte à titre d'unique solution du problème. Il y a autant de ces points établis que d'espèces ; ainsi, quant à l'espèce humaine, un premier homme a contenu ensemble, non confondus tous les hommes qui ont paru et qui paroîtront sur la terre. Chacun fait ainsi le roman à sa manière. Des opinions, sans racines dans l'ordre physique, sont mises à la place des choses. » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1828, Tome 17, pp. 225)

S'il échoua sur ses prédictions expérimentales, incontestablement l'étude des développements embryonnaires aura fortement influencé Geoffroy Saint-Hilaire pour expliquer dans un cadre global les découvertes paléontologiques de fossiles intermédiaires. Ainsi la **paléontologie expérimentale** est un des apports majeurs de Geoffroy Saint-Hilaire (Bourdier, 1967). Ce terme peut apparaître comme un oxymore entre une science historique et une science fonctionnaliste. Mais par ces deux voies de recherche il démontre finalement la possibilité de transformation des espèces fossiles en des espèces actuelles. A l'origine le terme

« évolution » est synonyme de transformation de l'embryon et Geoffroy le transpose pour expliquer les séries paléontologiques (Bourdier, 1960, p. 38-39). L'observation du développement foetal récapitule les transformations de la série animale dans l'histoire de la Terre « dans l'évolution d'un être qui a parcouru toutes les phases de sa vie, vous avez en raccourci, sous quelques rapports, le spectacle de l'évolution du globe terrestre » (Geoffroy²³¹ cité par Bourdier, 1967, p. 14). Cuvier s'opposa formellement à cette loi embryologique de récapitulation des organes défendue par Geoffroy, en n'admettant pas « la théorie du passage du fœtus par tous les degrés de l'échelle animale inférieurs à son espèce » (Laurillard, 1834, p. 68). Geoffroy Saint-Hilaire et Girou de Buzareingnes dont il s'était inspiré, préfiguraient la célèbre loi de Haeckel (1834-1919) « l'ontogénèse récapitule la phylogénèse ». Geoffroy Saint-Hilaire se positionne comme un des fondateurs de l'embryologie expérimentale combinée à la paléontologie évolutive pour cautionner la mutabilité des espèces au cours des temps géologiques.

11. 4 Conclusion : lien entre une problématisation associant la paléontologie stratigraphique à la paléontologie évolutive et des obstacles épistémologiques liés au progrès des faunes

11. 4.1 La problématique de la progression des faunes en tension avec de nombreux obstacles

Les différents modèles explicatifs, repères d'un progressionnisme

Cette controverse historique se situe en plein coeur de la géologie historique dans laquelle la paléontologie prend une place de plus en plus considérable. A travers cette étude de cas nous analysons que **la pensée progressionniste s'exprima sous plusieurs modalités** fort différentes autour du concept d'espèce.

Tout d'abord **le concept d'espèces fossiles disparues** démontré par Cuvier mit en avant une discontinuité apparente des faunes de vertébrés dans la séquence stratigraphique. Et avant de chercher ses causes, le premier problème qui se posait était de valider ou de réfuter le progrès dans cet archivage sédimentaire. Finalement la communauté savante admit par consensus cette « loi si générale » non seulement de renouvellement des faunes à la surface du globe mais d'un progrès marqué au sein de l'embranchement des vertébrés. Les théories fixistes catastrophistes totales ou partielles (Cuvier) assortie ou non de créations multiples (A.

²³¹ Geoffroy saint-hilaire, É. (1829 ou 1834). *Cours de l'histoire naturelle des mammifères : partie comprenant quelques vues préliminaires de philosophie naturelle, et l'histoire des singes, des makis, des chauve-souris et de la taupe : pouvant servir de complément à l'histoire naturelle des quadrupèdes de Buffon*, Tome 4, p. 81.

D'Orbigny) et les théories actualistes (Prévost) s'en accommodèrent devant les archives paléontologiques multipliées. Par contre ce concept fut utilisé à l'encontre d'une paléontologie évolutive. L'extinction d'espèces s'oppose à une vision continuiste telle celle d'une « chaîne des êtres créés » déjà discutée par Voltaire au XVIII^e siècle dans son article du *Dictionnaire philosophique* « Cette chaîne, cette gradation prétendue, n'existe pas plus dans les végétaux et dans les animaux ; la preuve en est qu'il y a des espèces de plantes et d'animaux qui sont détruites » (1754/1950, p. 103).

Or au XIX^e siècle le concept d'espèces fossiles disparues fut relayé par **le concept d'espèces fossiles intermédiaires**. Des groupes intermédiaires actuels ou fossiles sont admis et recherchés par tous les protagonistes de la controverse de 1838. Dans une vision continuiste, la problématique des espèces intermédiaires fut cernée pour lutter contre le catastrophisme de Cuvier. Mais en 1838, selon Geoffroy Saint-Hilaire, ce sont les preuves de filiation et d'ascendance entre les espèces anciennes et les espèces actuelles ayant une seule origine, à l'instar de Lamarck. Alors que selon Blainville ce sont des groupes issus d'une création originelle harmonieuse prédéterminée. Duméril maintenait aussi son opposition à Cuvier, d'après une lettre envoyée à Agassiz, et confortait sa théorie de groupes intermédiaires. A partir de l'analyse du crâne des vertébrés, qui ne serait que la réunion de plusieurs vertèbres, en 1812 il considérait le groupe des cyclostomes –auquel appartiennent les lamproies- comme un groupe intermédiaire entre les invertébrés et les vertébrés (Bourdier, 1978, p. 126). Aujourd'hui l'anatomie comparée et la phylogénie doivent différencier un intermédiaire structural fossile d'un ancêtre hypothétique abstrait (Lecointre & Le Guyader, 2001).

Tout le problème est de sérier **le concept d'espèce en paléontologie et en zoologie** par l'ensemble des différences ou des ressemblances anatomiques à l'origine de subdivisions utilisées initialement sur la faune actuelle. **Le principe de subordination des caractères** en zoologie est délicat à transposer intégralement sur les archives fossiles, comme l'a fait remarquer Blainville. La recherche des valeurs relatives des caractères premiers est fondamentale pour valider l'appartenance à un groupe de la classification « un caractère constant [...] et par conséquent d'une grande valeur » (Valenciennes, 1838, p. 578). Il perpétue l'idée de son maître « les caractères les plus-superficiels sont les plus variables » (Cuvier, 1834/1999, p. 80). Dans la controverse de 1838 deux écoles s'opposent dans le choix des caractères essentiels. La plupart se centre sur la présence d'un condyle à la mâchoire sauf Blainville qui se focalise sur la dentition. La classification des vivants est en plein essor et le tâtonnement effectif « si l'on admet que l'animal fossile est de l'ordre des Marsupiaux [...] l'on sait que cette famille des animaux à bourse forme une sorte de sous-classe, comme l'a dit Cuvier, qui marche parallèlement à celle des autres mammifères » (Valenciennes, 1838, p. 578). Ce qui signifiait que ce fossile pouvait avoir secondairement un des différents régimes alimentaires différenciés par Cuvier chez les mammifères. Une hiérarchie des caractères permet de sérier une hiérarchie des différents groupes de la classification. Mais selon la

méthode d'approche, si les différences sont recherchées alors des coupures sont établies, si les ressemblances sont recherchées alors des liens sont envisagés. Mais, comme le note Geoffroy Saint-Hilaire en comparant les méthodes, les différences et les ressemblances recherchées ne se situent pas au même niveau. Les premières s'appuient sur l'analyse des faits directement observables, les secondes nécessitent une synthèse de faits déduits moins accessibles « l'un poursuivait l'examen des cas différentiels, grande thèse d'utilité immédiate en zoologie ; et l'autre recherchait les points communs de l'organisation, bien difficilement visuels » (Geoffroy, 1837d, p. 540). Deux philosophies radicalement différentes s'affrontent pour cerner le plan d'organisation d'un vivant : plusieurs plans ou un plan unique, des grandes coupures ou un gradualisme (Le Guyader, 2000). Dans cette première moitié du XIX^e siècle la tension est grande entre la subordination des caractères héritée de Cuvier et l'Echelle de êtres héritée de Lamarck « Lamarck met l'accent sur les ressemblances, et fonde la doctrine du transformisme. Cuvier met l'accent sur les différences, et fonde la doctrine du fixisme » (Laurent, 1997a, p. 27). Geoffroy Saint-Hilaire et Blainville se placent sous cet héritage. Et finalement **la notion de série animale intégrant des fossiles** est admise par les camps fixistes et transformistes en 1838. En anatomie comparée en lien avec les strates, Cuvier, lui-même, avait déjà reconnu une succession entre les quadrupèdes ovipares, les mammifères marins puis les mammifères terrestres (Cuvier, 1834/1999, pp. 74-76). Or cherchant à donner une place aux fossiles par rapport aux espèces actuelles, la combinaison de ces différentes approches aboutit à une seconde méthodologie innovante et fondamentale en histoire des sciences, l'analogie. **Le concept d'espèces analogues** est initié par Lamarck en 1802 et celui **des organes analogues** est surtout développé par Geoffroy Saint-Hilaire en 1837. La problématique des analogues accentue les ressemblances entre faune actuelle et ancienne et se positionne dans un registre transformiste. Actuellement cette méthode comparative doit déceler la différence entre une analogie et une homologie, autrement dit entre une convergence anatomique et une parenté phylogénétique (Lecointre & Le Guyader, 2001).

Le réseau d'obstacles s'opposant au problème possible de progression associée à la transformation des espèces

Sous-jacent au problème d'identification des fossiles se profilent des registres explicatifs différents dont le raisonnement se fonde sur des obstacles épistémologiques. Ce registre empirique de détermination des fossiles de Stonesfield fut différemment exploité pour servir ou réfuter les thèses en opposition à l'époque. En effet **trois courants de pensée s'affrontent** en ce milieu du XIX^e siècle. Ils sont très bien résumés par un jeune membre peu connu de la récente Société géologique de France, Angelot, dont les paroles témoignent d'une libre pensée et d'une large diversité d'esprit au sein de cette société

« les règnes végétal et animal, par le nombre, la variété et la succession des espèces qu'ils présentent dans les différentes couches du globe, ont donné lieu aux trois hypothèses suivantes, entre lesquelles

on semble forcé de choisir, et qui partagent en effet tous ceux qui ont quelque intérêt à ce genre de questions : 1° ou il n'y a eu qu'une seule époque de création et persistance des espèces primitivement créées dans leurs formes premières ; 2° ou une seule époque de création avec transmutation graduelle des espèces les unes dans les autres ; 3° ou enfin des créations successives à différentes époques » (Bulletin de la SGF (1), t.12, 1840-1841, pp. 110-111, cité par Laurent, 2006, p. 7)

Le premier courant est représenté par Blainville, le second courant par Geoffroy Saint-Hilaire, enfin le troisième courant serait caractérisé par Alcide d'Orbigny et Agassiz plutôt que par Cuvier. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle le problème de progression des faunes est compatible avec un **créationnisme omniprésent** quels que soient les modèles explicatifs recherchés et opposés. Il peut intervenir en touche plus ou moins discrète dans le registre scientifique, une création unique, continuée, ou répétée. Le progrès des faunes renouvelées à la surface du globe peut être présenté sous ces trois facettes dont les deux premières sont anti-catastrophistes. Et toutes tendent finalement vers une continuité car Agassiz, Pictet et Marcel de Serres proposeront la « théorie de la création continue et progressive » (Bourdier, 1960, p. 35). Cette théorie mixte est qualifiée aussi de « créationnisme progressiste » et elle rallia bien d'autres naturalistes (Ad. D'Archiac, Ad. Brongniart, Eudes-Deslongchamps, Férussac, Etienne et Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, Verneuil, Buckland, Sedgwick, Owen – (Gohau, 1979 ; Tassy, 1997b). Ceci correspond à ce que nous avons appelé dans le schéma N°33, un « progressionnisme spiritualiste » car initialement, l'idée de progression était mise en avant. Cet obstacle créationniste est une pensée commune qui se réfère aux textes de la Genèse pour expliquer la distribution des êtres vivants actuels et fossiles à la surface du globe. Or elle génère plusieurs autres obstacles. Le progrès des faunes peut s'exprimer par le **finalisme, dérivé possible du progressionnisme** qui concentre une chaîne des vivants vers l'apparition de l'homme. Pour certains géologues la progression graduelle est clairement orientée telle « une succession de destructions et de créations préparatoires à l'existence de l'homme » (Humphrey Davy cité par Gould, 1990, p. 221). La progression des faunes est associée à une complication des êtres inférieurs vers les êtres les plus parfaits. Pour les catastrophistes la notion de progrès des vertébrés signifiait une corrélation avec le refroidissement continu de la Terre tel que « des formes de vie plus complexes sont apparues pour résister aux rigueurs d'un climat de plus en plus rude » (Gould, 1990, p. 224). Ce finalisme, différemment exprimé, signifie non seulement que l'histoire graduelle des vivants est déterminée mais aussi qu'elle est achevée avec l'espèce humaine actuelle.

En conclusion nous discernons **trois niveaux explicatifs dans cette controverse**. Le premier niveau fait consensus et est représenté par le progressionnisme. Nous entendons par là l'accord sur la progression des faunes marquée par des animaux d'un degré d'organisation plus élevé en parallèle à la superposition des strates. Ce développement progressif est admis aux cours du temps géologiques sans présager de ses modalités. Nous nous différencions de la définition restrictive apportée par R. Hooykas (1970, p. 128). Le second niveau explicatif doit être repéré. Nous avons vu que le progressionnisme peut être affilié aussi bien au créationnisme avec Blainville qu'au transformisme avec Geoffroy Saint-Hilaire. C'est un

créationnisme très orthodoxe mobilisé par le premier naturaliste alors qu'il est beaucoup moins en interaction avec le registre scientifique du second. Le troisième niveau explicatif est constitué alors de plusieurs registres explicatifs entrecroisés constituant un cadre épistémique spécifique. C'est pourquoi le transformisme de Geoffroy peut être en plus qualifié de saltatoire. Il conçoit sa filiation par descendance entre les êtres vivants par de brusques modifications du vivant au niveau embryonnaire sous l'action des variations du milieu de vie. Il s'oppose au transformisme graduel sur un temps excessivement long de Lamarck qui envisage « une tendance originelle de la substance vivante vers la perfection » et vers une complexification croissante (Hooykaas, 1970, pp. 152-153). Enfin d'autres combinaisons peuvent être effectuées avec les registres explicatifs liés à l'histoire géologique. Dans ses interférences avec l'histoire de la vie, l'actualisme ou l'uniformitarisme s'opposerait généralement à une progression paléontologique qu'elle soit évolutionniste ou non (ibid., p. 175). Cette corrélation ne se vérifie pour Prévost qu'à partir de 1829 car il est devenu anti-progressionniste. Pour Lamarck, de fixiste il est devenu transformiste pour l'histoire des vivants tout en conservant une vision géologique uniformitariste. Ce qui génère la controverse ce sont des modèles explicatifs différents d'un niveau supérieur au progressionnisme. Les registres explicatifs fixistes ou transformistes induisent des méthodes d'analyse opposées, différences ou ressemblances, sur un même registre empirique fossile. La controverse ouvre sur des nécessités contraires. La problématisation ne peut donc être consensuelle. Alors pour l'ensemble de la communauté scientifique ces savoirs paléontologiques gardent le statut de possibles à corroborer ou invalider.

11. 4.2 La clôture de la controverse en France, en Europe

Au sein de la communauté française, le débat est momentanément clos puisque chacun des protagonistes reste sur ses positions par des assertions répétées. Blainville conclut fermement à un reptile et invalide l'appartenance à un mammifère

« les mâchoires fossiles des schistes oolithiques de Stonesfield n'avaient certainement pas appartenu à la sous-classe des Didelphes, ni même à la famille des Insectivores de la sous-classe des Monodelphes ; qu'ainsi probablement cet animal n'était pas même un mammifère, et que c'était un animal ovipare de la famille des Sauriens dans la classe des reptiles » (Blainville, 1838 b, p. 728).

Il rajoute même qu'il l'aurait bien affilié cet énigmatique fossile à un poisson si ce n'était la caution d'invalidation par son éminent collègue Agassiz²³², plus spécialiste sur les poissons

²³² Blainville a pris la peine de revenir aux sources citées par son collègue Louis Agassiz et il reprend quelques extraits « ce n'est pas un poisson. [...] La couronne tranchante des plus grandes dents molaires, comprimées latéralement, a toujours deux petites échancrures de chaque côté, et par conséquent cinq pointes. Les petites n'en ont que trois ; elles sont certainement de mammifères. Mais qu'elles soient comparables à celles des Marsupiaux, c'est ce qui n'est pas. Ce système dentaire a aussi beaucoup de ressemblance avec celui des Insectivores, et chaque dent séparée ressemble même à la plupart de celles des Phoques, dans le voisinage desquels l'animal doit

fossiles (Blainville, 1838b, p. 730 & 734). Duméril a exactement la conclusion inverse, il affirme l'identification d'un mammifère et invalide celle d'un reptile. Dans sa synthèse Blainville reprend point par point les arguments surtout de Valenciennes et les invalident tous. En conclusion les uns voient une mâchoire formée d'un seul os avec un condyle et une apophyse ainsi que des dents contiguës pentacuspides. Ils font ressortir les caractéristiques communes avec des mandibules de mammifères. Tandis que les autres imaginent même l'effacement des sutures osseuses par la fossilisation, et ne voient aucun condyle ni aucune apophyse pas plus que des dents espacées tricuspidées caractéristiques des reptiles. La divergence du registre empirique soutenue par des cadres épistémiques contraires explique que le consensus fut impossible et le débat bloqué. Il était impossible de construire un modèle explicatif commun.

En Europe la contribution d'un paléontologue anglais a pu être décisive. En octobre 1838 Blainville signalait que la discussion scientifique française qu'il avait lancée à propos des fossiles de Stonesfield avait été médiatisée dans le journal anglais *The Athenaeum* sans préciser l'auteur. Nous avons retrouvé trois articles de **Richard Owen (1804-1892)** à ce propos : le premier date du 21 novembre 1838 dans les *Procès de la société géologique de Londres* (Owen, 1838a) et les deux seconds datent du 19 décembre, l'un provenant de la même revue scientifique (Owen, 1838b) et l'autre effectivement dans le journal évoqué par Blainville (Owen²³³, 1838c). R. Owen est le jeune et brillant anatomiste et paléontologue disposant dans la collection d'Oxford des échantillons fossiles débattus. Sa communication dans *The Athenaeum* éclaire d'une façon rigoureuse et sans ambiguïté l'appartenance de ces deux fossiles à la classe des mammifères et pour le second à l'ordre des marsupiaux « entre le genre *Thylacinus* et *Didelphe* dans cette série marsupiale » (Owen, 1838c). Il reprend point par point les différentes objections de Blainville et d'Agassiz, la surface articulaire, la dentition reptilienne, la découverte en Amérique du fossile du Dr Harlan, la couleur et de la mâchoire supposée composée. Il les démonte par de vastes connaissances très précises et comparatives dans le règne animal. Il conclut à l'évidence sur la nature des fossiles de Stonesfield par la somme des caractères suivants concernant la partie osseuse et la dentition :

former un genre distinct » (In *Neue Jarbuch Mineral. Und Golog. Von Leonhard and Bronn*, 1835, tome III, p. 185. Il a traduit personnellement l'extrait référencé inclus dans l'ouvrage de traduction allemande de Buckland, *La Minéralogie et la Géologie* qui appuie les mêmes arguments.

²³³ Nous avons retenu l'auteur de la communication principale, Richard Owen dans notre bibliographie. Whewell est président de la séance du 19 décembre 1838 à la *Geological Society of London*. Est-il pour autant l'auteur de l'article de synthèse paru dans le journal de l'*Athénæum* ? Cependant notons qu'un second savant est intervenu à la fin de cette séance, M. Ogilby. Ce dernier récapitulait les points anatomiques en accord avec les insectivores et les mammifères marsupiaux ainsi que les points anatomiques en accord avec les animaux à sang froid. En conclusion la double appartenance de classes des caractères repérés l'empêche de se prononcer finalement sur la classe à laquelle appartient le fossile.

Blainville signalait que l'auteur espérait vivement la découverte de nouvelles pièces fossiles plus démonstratives dans les carrières de Stonesfield. Il rappelait le nouveau nom proposé aux fossiles, « *Botheratiotherium* ». Le décalage de date et le nom différent donné au fossile maintiennent le doute sur l'auteur auquel Blainville se référait. En France, aucun article n'est paru dans le *Journal des savants* de cette même année.

la forme du condyle, l'apophyse coronoïde, l'angle de la mâchoire, les deux types de dents ainsi que la forme de leur couronne, leur double racine et leur implantation dans un alvéole indépendant. Il insiste sur le fait que ces caractéristiques sont positives et non accidentelles alors que la structure composée de la mâchoire pourrait être due à des circonstances accidentelles. De plus il venait de démontrer auparavant la confusion erronée entre des lignes de sutures harmonieuses et des lignes de pressions vasculaires. Cette démonstration magistrale d'Owen avec les échantillons à l'appui peut expliquer l'arrêt du débat scientifique en France. Il propose un autre nom supplémentaire pour le second fossile découvert plus complet mais problématique de Stonesfield, le «*Phascolothérium Bucklandii* ». Et Lyell accorde effectivement à Valenciennes et Owen la clôture de cette controverse. Ce dernier rapprocha le premier fossile *D. Prevostii* à la découverte récente d'un petit marsupial australien insectivore «*Myrmecobius fasciatus* »²³⁴ à neuf dents molaires espacées (Lyell, 1843, vol.1, p. 378). Or c'étaient les critères utilisés par Blainville pour l'affilier à un reptile ! De même Owen rapprocha le second fossile *D. Bucklandii* à l'espèce opossum parmi les didelphes. Signalons aussi que dans le contexte anglais, l'autorité de **Charles Lyell** était prégnante. Or il était un **opposant farouche** à la théorie du développement progressif de la vie organique. Il l'avait réfutée avec de nombreuses objections dans la première édition de son ouvrage *Principles of geology* (Lyell, 1830, vol. 1, chap. IX). La preuve négative, l'absence de fossiles d'oiseaux et de mammifères dans les strates inférieures au tertiaire, n'est pas une preuve scientifique suffisante d'un progrès des faunes. Il développe de nombreux contre-arguments : les principales divisions du règne végétal présentes dès la période carbonifère, les couches du secondaire principalement marines et la rareté du processus de fossilisation – d'autant plus pour les animaux affiliés au milieu terrestre et arboricole tels les oiseaux et les mammifères-, la relativité du critère de perfection –peut-on dire que la faune Eocène est moins parfaite que la faune pliocène ?-, la relativité d'une preuve négative et le champ d'investigation paléontologique encore restreint, la recherche d'une cause de l'absence ou de la rareté des mammifères, même dans les dépôts tertiaires, corrélée un changement climatique.

Le règlement de cette controverse semble plus tardif en France. La controverse d'identification zoologique ne semble pas tranchée encore en 1846, la conjecture de la communauté savante penche vers la validation d'un fossile de marsupial et la réfutation d'un reptile (Serres, 1846, Tome 1, pp. 263-268). La controverse théorique à propos de la loi de

²³⁴ Lyell précise qu'il a été trouvé dans le creux d'un arbre dans une région australienne remplie de fourmilières. Cette espèce est reconnue aujourd'hui pour se nourrir exclusivement de termites et être le seul marsupial australien totalement diurne. R. Owen s'est intéressé de très près à la controverse en France puisqu'il fit déjà trois communications rapprochées en novembre et décembre 1838. De plus, il fit une autre communication très développée, le 8 janvier 1839, à propos de la classification des Marsupiaux qu'il réorganise et dans laquelle il insère un dessin de ce nouveau marsupial (1838/1841). *Outlines of Classification of the Marsupialia. Transactions of the zoological society of London*, Vol. 2, art. 22, 315 & pl. 27-28.

complication ou de progression non plus. Mais n'oublions pas que Marcel de Serres est favorable à une théorie de la création continue et progressive. De fait l'Académie des sciences, se positionnant en expert indépendant par le biais des prix de l'Académie, offrit en 1850 un Grand prix des Sciences physiques ou naturelles²³⁵ qui devait tenter de mettre d'accord la communauté scientifique sur les liens possibles entre la paléontologie stratigraphique et les vivants actuels. Son intitulé pose le problème ainsi « Etudier les lois de la distribution des corps organisés fossiles dans les terrains sédimentaires, suivant leur ordre de superposition, etc. » (Maindron, 1881, p. 63). Cette étude nécessita six années de travail – le prix ayant été remis au concours en 1853- et fut remporté en 1856 par un paléontologue allemand, Bronn, dont les nombreux tableaux de compilations paléontologiques révèlent un travail gigantesque de synthèse. Il règle en partie la problématique des fossiles de Stonesfield et du « développement géologique des mammifères » en apportant la certitude de l'apparition de cette classe au Jurassique. Quant à la controverse théorique, il valide au sein de quatre grands types de plan, « la loi du développement terripète²³⁶ et progressif » qui est « réellement la marche indiquée pendant la création » (ibid., p. 917). Le schéma qu'il propose est un arbre ramifié des différentes groupes dont le fut central représente une direction du développement et les ramifications un degré relatif de perfectionnement (ibid., p. 900). Un des résultats principaux de sa recherche est la validation de l'apparition et de la progression synchrone du règne végétal et du règne animal

« L'apparition tardive des Mammifères en général et d'une plus grande variété de leurs types en particulier était essentiellement dépendante de l'apparition également retardée d'une flore riche, variée et plus parfaite de Dicotylédones et des Insectes et des Oiseaux qui en subsistent, et qui sont les uns et les autres destinés à servir de nourriture aux mammifères » (Bronn, 1856, p. 897).

Il envisage les populations des différentes espèces simultanées dans les strates et le changement n'affecte qu'une partie de la population chaque fois. Son système créationniste comprend l'extinction d'anciennes espèces et la création de nouvelles espèces sans transformation les unes dans les autres et sans catastrophes. Nous sommes trois ans avant la sortie *De l'origine des espèces* de Darwin.

²³⁵ Ils furent fondés par l'état en l'an XI (1801) à 1879 sous la directive de Bonaparte qui voulu instaurer un concours international par une circulaire adressée à toutes les Sociétés savantes étrangères en germinal de l'an VIII (mars 1800) « Nous vous adressons le programme des Questions de Physique que l'Institut national propose aux savants de toutes les nations ; les prix qu'il doit décerner aux solutions qu'il jugera les meilleures seront sans doute, pour les personnes capables de travailler sur ces sujets, des motifs beaucoup moins puissants que l'honneur d'avoir contribué aux progrès des connaissances humaines » (Maindron, 1881, p. 55)

²³⁶ C'est une qualification pour exprimer que le développement est dirigé par la conquête du milieu terrestre. C'est pourquoi il envisage que les premiers mammifères sont représentés par les Cétacés et les petits Insectivores implantaires (Bronn, 1856, p. 897). Or de nouvelles archives fossiles induisent une autre logique. Elles présentent une parenté avec les cétacés actuels par l'organisation de l'oreille interne qui isole les sons en milieu aquatique. Elles ont été présentées lors de l'exposition temporaire « Cétacés » au Muséum national d'histoire naturelle de Paris en 2009 : le fossile Pakicetus terrestre tétrapode âgé de 50 millions d'années, le fossile Ambulocetus intermédiaire amphibie et tétrapode palmé âgé de 48 millions d'années, le fossile Cynthiacetus aquatique aux pattes arrières atrophiées âgé de 38 millions d'années.

Si le règlement de cette controverse fut tardif c'est que nous avons affaire sans doute à un concept en science historique et non pas en science fonctionnaliste. La validité des archives fossiles comme preuves scientifiques d'une théorie est beaucoup plus délicate. Elle ne peut se faire par une expérience cruciale comme le fut l'expérimentation de Pasteur validant la théorie du vivant contre la génération spontanée. La démarche de preuve a nécessité une large accumulation de spécimens dans des gisements fossilifères exceptionnels, une analyse corrélée croisant plusieurs champs disciplinaires dans les sciences historiques et expérimentales, une réorganisation de toutes ces données dans une histoire cohérente des vivants sur Terre. Et en définitive un consensus put se faire sur une nécessité de transformation des vivants au cours des temps géologiques, où disparitions et apparitions des groupes se sont succédé, accompagnées d'une diversification. Actuellement de nombreux groupes fossiles de marsupiaux ont été identifiés dans les terrains du secondaire. La forme de leurs molaires supérieures –dites tribosphéniques²³⁷–, est un des caractères dérivés propres au groupe des thériens mais il peut être absent chez certains groupes fossiles qui ne réunissent pas tous les caractères des marsupiaux actuels. Ces marsupiaux fossiles sont intercalés entre les branches phylogénétiques des monotrèmes et des thériens. (Lecointre & Le Guyader, 2001, p. 390).

L'enracinement de la controverse actuelle entre créationnisme et évolutionnisme, siège en partie dans ces débats des années 1830. Nous ne pouvons pas dire qu'il est clôt puisque le débat a repris actuellement en intensité par le courant américain de l'« Intelligent Design » diffusant en Europe (Steinberg & al., 2000).

11. 4.3 Le mythe du progrès est toujours présent dans l'actualité scientifique

Le socle paléontologique sur lequel s'appuie l'évolutionnisme d'aujourd'hui est en pleine ébauche scientifique dans cette première moitié du XIX^e siècle. Actuellement le mythe du progrès semble être une réminiscence mal construite des concepts discutés alors, la progression des faunes puis leur développement progressif. Si la succession des faunes est intégrée dans une pensée transformiste et finaliste, la pensée commune comprend plus facilement l'idée d'un progrès linéaire et d'un perfectionnement graduel des faunes où l'homme représente le terme ultime d'animalité. L'analyse sémantique permettrait aussi d'expliquer les synonymies –amélioration, accroissement- et les changements de sens qui se sont opérés entre progression, progressif et progrès. Dans son introduction de l'ouvrage *La vie*

²³⁷ Elles sont munies d'un tubercule (cuspidé) nouveau situé sur le bord interne (lingual). Mais l'objet de notre controverse portait bien sur la forme de molaires mais des mâchoires inférieures. L'articulation de la mandibule et les dents jugales à double racine sont retenues parmi les caractères dérivés propres aux mammifères (Lecointre et Le Guyader, 2001, p. 369)

est belle S.J. Gould a amplement alerté contre l'« attachement inconscient à l'échelle du progrès » qui aboutit à différentes iconographies erronées traduisant maladroitement l'idée actuelle d'évolution des vivants (Gould, 1991, p. 35). Cette idée de progrès, dérivé du concept d'échelle, enferme la pensée à la recherche d'une loi de l'évolution dans le sens unique d'une complexification. La recherche d'une causalité est dévoyée car « nous nous enfermons dans l'idée que ce progrès est la dynamique fondamentale de toute évolution » (Gould 1997b, p 181). Or la recherche d'une loi va à l'encontre du hasard et de la contingence. **Il n'y a pas de progrès démontré par la paléontologie, ni de loi de l'évolution biologique.** Actuellement le mythe du progrès trop associé au concept d'évolution biologique veut être levé par les archives paléontologiques. D'une part les espèces actuelles reliques, comme le nautilus, la limule, le ceolacanthé, témoignent d'une stabilité morphologique sur des millions d'années. Le développement progressif n'est donc pas universel. D'autre part les fossiles apportent les preuves d'espèces contemporaines et non pas successives sur l'échelle des temps géologiques. A charge contre le mythe du progrès de concevoir la lignée du cheval et la lignée humaine non pas comme des réussites évolutives mais comme des rameaux, vestiges d'un buisson en voie d'extinction. Par exemple les archives fossiles ont permis de recenser vingt à trente genres de chevaux vivant en même temps en Amérique du Nord à l'ère tertiaire. Et seul le genre *Equus* persiste aujourd'hui avec huit espèces (Gould, 1997). Par l'étude des céphalopodes, abondant en restes fossiles et bien connus systématiquement du cambrien à l'actuel, deux modalités sont analysées (Tintant, 1992). Des phases adaptatives lentes – côtes et ornements, aplatissement de la coquille- alternent avec des phases novatrices brèves – apparition du siphon, enroulement de la coquille, plissement des cloisons, disparition de la coquille- (ibid., p. 139). Aucune tendance au progrès continu n'est décelable. Soit la sélection naturelle opère, soit un éventail de solutions nouvelles pour la survie est enregistré. La paléontologie conforte un système ramifié par rapport à un système linéaire avec une multitude d'animaux disparus et de rameaux éteints par le « sinistre sécateur de l'extinction » (Gould, 1991, p. 35). Les nouvelles iconographies buissonnantes s'opposent à cette idée de progrès linéaire. Et comme l'avait présagé Geoffroy Saint-Hilaire, les phénomènes de coévolution sont pris en exemple pour lutter contre l'idée de déterminisme associé au progrès et illustrer le hasard des pressions de sélection au sein des relations interspécifiques (Selosse & Tully, 2008)²³⁸. Le progrès est une notion anthropocentrée et non pas une nécessité déduite des données paléontologiques. Parmi les nombreuses lois recherchées à travers les fossiles (accroissement de taille, spécialisation, complexité, récapitulation) la seule loi acceptable est celle de l'irréversibilité en science historique comme la paléontologie.

²³⁸ La pression de sélection a pu être étudiée expérimentalement sur des cultures de bactéries, de collemboles ou de guppys ainsi que pour un cas de symbiose pollinisatrice telle celle du *Yucca* et d'un insecte lépidoptère. Ces différents exemples lèvent aussi la conception d'harmonie trop souvent ancrée aux systèmes biologiques

CONCLUSION partie 4 : l'analogie, principe de raison ou obstacle, et les problèmes paléontologiques associés en référence à la faune actuelle

1. Comparaison globale entre le travail de problématisation des savants et celui des élèves

Nous venons d'analyser trois études de cas didactiques que nous avons rapprochées sur la forme discursive et sur le fond scientifique de la détermination d'un fossile et de sa mise en histoire avec d'autres vivants actuels ou passés. Malgré ces mises en œuvre de débats très différents, la construction des rapports possibles ou nécessaires entre la faune actuelle et les faunes fossiles apparaît comme la problématique principale. La faune actuelle constitue le résultat d'une très longue histoire de la vie en parallèle d'une encore plus longue histoire de la Terre. La problématisation de ces histoires synchrones réside dans la mise en tension entre les données biologiques et les déductions géologiques puisque la paléontologie se situe à l'interface de ces deux champs disciplinaires. Voici résumé, dans un tableau de synthèse les différents modes de pensée « analogiste » mobilisées dans les discussions scolaires et la controverse de 1838 sur l'identité et la mise en histoire des êtres vivants sur Terre.

Tableau N°24 : **Les différents modes de pensée analogiste**

Discutants	Elèves de CM2	Elèves de 4 ^{ème}	Blainville
Obstacle analogiste émergent	Analogie entre les coquilles enroulées (spiralées pour les fossiles d'ammonites et tordues pour les coquilles actuelles d'escargots terrestres)	Modèle analogiste sous-jacent à un modèle écologique ou un modèle biologique ou un modèle de complexification avec une filiation entre les animaux aquatiques et terrestres	Modèle analogiste associé à une unité de structure du monde organique et une conception actualiste du monde environnant
Exemple de formulation	L'ammonite et l'escargot se ressemblent donc L'ammonite serait l'ancêtre de l'escargot	La métamorphose des amphibiens donne l'idée d'un passage animal du milieu aquatique au milieu terrestre	les espèces actuelles sont identiques –organisées sur le même plan- aux espèces anciennes, toutes ayant vécu dans un monde physique stable
causes mobilisées	Cause d'assèchement de l'ancien milieu marin et conséquence de métamorphose de l'ammonite en escargot terrestre actuel	Les végétaux doivent précéder les animaux phytophages qui doivent précéder les animaux zoophages OU La métamorphose permet de changer de milieu de vie OU Les animaux aquatiques antérieurs sont plus simples que les animaux terrestres ultérieurs	Une cause unique, une création originelle harmonieuse par un Créateur ayant conçu une série animale parfaite progressive qui se dégrade
identité du fossile et mise en histoire des êtres vivants	En rapport avec un seul critère de ressemblance, une coquille enroulée, qui suffit à établir une parenté	En rapport avec les autres fossiles découverts	En rapport avec sa composition anatomique ciblant des différences et/ou sa position stratigraphique Série animale progressive, détruite peu à peu
raisons de résistance	Prégnance du présent ou « présentisme »	Prégnance du présent Ou « présentisme »	Les catastrophes multiples ne sont pas nécessaires et les créations multiples sont impossibles
problématique	Problème isolé de comparaison morphologique entre un fossile et un vivant	Problème d'origine aquatique des êtres vivants et de filiation entre les animaux marins et terrestres	Problèmes connexes construits par la communauté savante corrélant, plus ou moins, la stratigraphie, la paléontologie, la classification des êtres vivants et l'embryologie
Autres Obstacles associés	Expérience première et généralisation Temps immédiat ou historique	Temps immédiat ou historique (Aucune relation avec les couches terrestres) finalisme	Créationnisme dominant Finalisme/déterminisme

La pensée préscientifique des élèves peut apparaître plus simple à analyser que la pensée des savants. Cette différence, nous l'avons établi en différenciant, précédemment, le troisième registre des espaces de contraintes et de possibles. Dans le cas des études scolaires, nous avons retenu la notion de registre explicatif. Et dans le cas des études historiques, nous avons préféré retenir la notion de cadre épistémique, qui sous-tend de mettre en réseau plusieurs registres explicatifs. Clarifier le cadre épistémique de Blainville, dans cette première moitié du XIX^e siècle, a été une enquête délicate, plus particulièrement à cette période charnière de 1838, où il a pu changer de cadre. Ainsi tenons-nous à rappeler les couples conceptuels antagonistes qui peuvent aider à cerner la problématique historique (Hooykaas, 1970 ; Rudwick, 1985 ; Gould, 1990 ; Gohau, 1990b & 2003). Considérons le monde vivant : une unité de plan d'organisation et des tissus ou une complexification du plan au cours du temps (uniformitarisme / progressionnisme) ; une stabilité du monde vivant ou sa transformation (stationnarisme / transformisme) ; une modification des vivants, graduelle ou discontinue (gradualisme / discontinuisme -catastrophisme ou saltationnisme²³⁹). Considérons le monde physique : une stabilité du monde physique ou un changement de l'environnement du vivant (actualisme / directionnalisme) ; un bouleversement total, partiel ou inexistant (catastrophisme ou discontinuisme / continuisme) ; un seul dépôt ou une stratigraphie paléontologique (fixisme / progressionnisme). Notons que la difficulté résulte aussi, des interactions possibles entre l'environnement et la structure des êtres vivants. Le créationnisme de Blainville peut, en quelque sorte, atténué ou gommé ces différents repères.

Nous allons poursuivre la comparaison maintenant, entre les deux expérimentations scolaires, l'identification de fossiles d'ammonites ou la mise en histoire des vivants sur Terre et, l'enquête historique à propos des fossiles énigmatiques du Jurassique en Angleterre. Cette comparaison affinée portera sur la référence obligée à l'actuel et sur les difficultés inhérentes aux sciences historiques.

2. Les différentes facettes de référence à l'actuel

Le premier point de convergence dans tous les raisonnements élaborés est constitué par le poids important de l'actuel dans les tentatives de reconstruction d'une histoire paléontologique. En cycle 3 la référence principale pour identifier une coquille fossile disparue et marine est une coquille actuelle terrestre appartenant au quotidien des élèves. Acceptant l'ancienneté relative du fossile et l'ancienneté de la mer dans la région de Franche-

²³⁹ D'emblée le concept de chaînon, ou d'espèce intermédiaire a été envisagé au XIX^e siècle, par Blainville comme Geoffroy Saint-Hilaire. Cette pensée peut être affiliée au gradualisme. La pensée opposée, aujourd'hui, est de concevoir une transformation par saut, conformément à la théorie des équilibres ponctués de S. J. Gould et N. Eldredge, formulée seulement au XX^e siècle. L'idée d'évolution par saut et le terme associé de saltationnisme sont bien ultérieurs à l'époque étudiée.

Comté, ils imaginent une filiation directe entre l'ammonite et l'escargot actuel. La contiguïté dans l'espace actuel des deux vivants récoltés et l'analogie d'une coquille enroulée suffisent aux élèves pour construire une parenté généalogique. Deux obstacles épistémologiques facilitent cette construction, l'expérience première sensible de Bachelard et la métamorphose en tout sens de Canguilhem. L'expérience première peut même se présenter à un premier niveau inattendu pour le chercheur, révélé par la coconstruction entre élèves à partir des échantillons fossiles d'ammonites. En cycle 3 beaucoup de ces restes fossiles récoltés sont morcelés, or nombreux sont les élèves qui les ont considérés comme une partie complète analogue d'un vivant actuel. La discussion aura permis alors à certains élèves de s'approprier le concept de fossilisation partielle et de dépasser les données scientifiques directement observables. En 4ème de collège le cycle de vie d'un animal à développement indirect sert de métaphore pour imaginer la possibilité d'une conquête du milieu terrestre par les animaux amphibiens. La métamorphose actuelle d'un individu est transposée pour comprendre la possibilité de transformation des espèces. Mais la transformation individuelle induit plus l'idée d'un remplacement que d'une spéciation. En histoire des sciences outre les archives paléontologiques multipliées, en zoologie les données actuelles anatomiques et embryologiques –observations et expériences- ont aussi généré cette possibilité d'évolution des espèces au cours des temps géologiques. Là encore les séries fixistes ou transformistes de vertébrés qui en découlent apportent plus l'idée d'un remplacement des chaînons successifs que d'une diversification des espèces. L'ensemble de ces travaux invite à questionner la référence prégnante à l'actuel comme condition d'accès raisonné aux savoirs paléontologiques. Le bon usage de l'actuel déterminant les contraintes retenues des scientifiques ne correspond pas à son usage surestimé par les élèves ou certaines communautés scientifiques dans leur raisonnement explicatif d'une reconstruction paléontologique. Puisque l'analogie à l'actuel finit par être contournée et que les solutions validées scientifiquement tendent souvent à s'en éloigner, ce degré de résistance à l'actuel apparaît plutôt comme une difficulté.

Les raisonnements scientifiques fondés par analogie avec l'actuel peuvent être **à la fois un principe de raison et un obstacle en science historique**. Nous avons déjà rappelé l'ambiguïté des références à l'actuel dans un raisonnement de reconstruction historique concernant l'origine de la vie. Dans ce sens les travaux historiques de S. Tirard (1996) aboutissent à la notion de théorie-récit. Outre les archives paléontologiques qui donnent le sens de l'histoire, la seconde contrainte empirique réside dans les résultats expérimentaux tentant de reproduire les premières molécules du vivant. Or l'ensemble des conditions nécessaires des soupes prébiotiques proposées a eu différents modèles explicatifs historiques se distanciant plus ou moins des conditions actuelles sur Terre. En complément les travaux didactiques de D. Orange-Ravachol (2003) montrent bien la conformité des élèves de lycée qui restent sur les conditions physico-chimiques en lien avec l'atmosphère et l'hydrosphère actuelles quand ils prennent en charge le problème de l'origine de la vie. Leur mode de

pensée, catégorisé comme « actualisme de premier niveau » ou actualisme d'analogie, génère des difficultés à penser une histoire de l'émergence des premières formes de vie dans des conditions biochimiques et environnementales très différentes de l'actuel à la surface de la Terre. Sur ce problème, l'écart de problématisation est même très grand entre les chercheurs et les élèves. Le scientifique André Brack utilise les caractéristiques actuelles connues des milieux hydrothermaux spécifiques et des organismes unicellulaires pour mieux s'en distancier. Aujourd'hui les chercheurs extrapolent l'actuel en rendant probable un milieu originel très différent. Dans toutes ces études l'ambiguïté du principe méthodologique de l'actualisme est repérée pour tout problème historique car il est en tension avec une histoire de la Terre évolutive et irréversible dont les conditions à la surface du globe se sont modifiées.

Historiquement l'actualisme, utilisé par Jean-André De Luc (1727-1817) **ou l'uniformitarisme**, énoncé par le géologue anglais William Whewell (1794-1866), correspond au **principe des causes actuelles** partagé par Constant Prévost et Charles Lyell au milieu du XIX^e siècle pour lutter contre le catastrophisme de Cuvier (Gohau, 2003b). C'est un principe de raison en géologie pour expliquer les changements géologiques survenus à la surface de la Terre selon des causes similaires à celles agissant aujourd'hui. L'usage français du terme « causes actuelles » détourne son sens anglais « actual causes » ou « causes réelles » exceptionnellement usité de plus par les géologues anglais car absurde en opposition à des « causes imaginaires hors du champ de la science » (ibid., pp. 18-19). L'actualisme voulait clarifier l'opposition entre deux théories géologiques, l'une continue et cyclique comprenant des causes d'intensité faible uniforme à l'actuel et l'autre discontinue et irréversible mobilisant des causes d'intensité paroxysmique ou catastrophique. Ces principes –actualisme vs catastrophisme - ont été établis historiquement et discutés initialement par rapport aux changements de la géosphère – strates inclinées, orogénèse, blocs erratiques –. Au milieu du XIX^e siècle, ces principes géologiques ont pu être transférés et discutés par rapport aux changements de la biosphère -uniformitarisme vs progressionnisme- (Hooykas, 1970). Ce sont des principes de raison en biologie pour expliquer les changements de faune et flore survenus à la surface de la Terre. Ce **principe d'uniformité ou uniformitarisme** des faunes à la surface du globe s'opposait au progressionnisme. Le premier considère que les espèces actuelles ont remplacé les espèces disparues au même niveau d'organisation, le second conçoit un développement progressif du monde organique par création ou descendance. Ils peuvent être remplacés par des modèles antagonistes modernes, un modèle stationnariste vs un modèle évolutionniste, qui intègrent une histoire biologique. La prise en compte de l'actuel pour nourrir la réflexion des changements dans le monde vivant pose les mêmes questionnements épistémologiques. Mais comment faire autrement que de se référer à l'actuel au départ de la réflexion ? Mais comment mettre en histoire les archives paléontologiques contenues dans les strates en ne cherchant pas leurs équivalents dans la biodiversité actuelle ?

Or si les êtres vivants actuels ne sont que les produits d'une évolution contingente par plusieurs décimations d'une disparité initiale comme S.J. Gould le démontre en réinterprétant la faune de Burgess (1991), l'actuel restreint beaucoup trop notre système de pensée. D'après ses travaux, cela ne paraît être une mission scientifique impossible de la considérer comme un simple repère explicatif et non comme un cadre exclusif de référence !

C'est donc cette autre facette que nous voudrions reconnaître, **la référence à l'actuel en tant qu'obstacle épistémologique**. Elle diffère de la considération des causes actuelles environnementales, l'actualisme en géologie, ou des populations uniformément semblables à l'actuel, l'uniformitarisme en biologie. Nous avons vu que l'écart entre les problématisations scolaires et scientifiques -historique ou modernes- réside dans la gestion rationnelle de la faune actuelle référente. La compétence principale des naturalistes consiste à se servir des données actuelles de la biologie tout en s'en affranchissant suffisamment pour rendre cohérent une histoire de la vie irréversible dans un cadre géologique et paléontologique. Ils jonglent entre les deux domaines disciplinaires -zoologie et paléontologie- mais aussi entre deux registres empirique et explicatif qu'ils ont considérablement enrichis, entre deux pôles de la méthode analogique - ressemblances ou différences en anatomie comparée. Au contraire les élèves calquent leur mode de pensée sur la biologie actuelle, sur les cycles de vie des êtres vivants observés aujourd'hui et sur la généalogie humaine pour expliquer les archives paléontologiques. En conclusion l'analogie à l'actuel fonctionne comme un principe de raison incontournable mais en figeant la pensée il peut fonctionner aussi comme un obstacle épistémologique. Nous pourrions le nommer **l'«analogisme»** pour bien le différencier des principes historiques. Nous le définirions comme étant « l'ensemble des modes de pensée appartenant à un même système de raisonnement qui s'appuie trop exclusivement sur l'actuel par analogie : les conditions de vie, la zoologie, l'anatomie et la biologie des êtres vivants actuels sont des références trop prégnantes pour expliquer les formes de vie passées ». Ainsi les fossiles qualifiés d'intermédiaires sont des formes structurelles à caractères zoologiques mixtes des groupes actuels de la classification. Mais ces fossiles ne représentent pas pour autant un ancêtre commun par descendance à ces deux mêmes groupes. Parfois ce concept de fossile intermédiaire a conduit certains scientifiques à des fraudes paléontologiques. Le célèbre fossile de Piltdown fut présenté en 1912 à la Société géologique de Londres comme le chaînon manquant parfait, mi-singe et mi-humain. Résultant en fait d'un bricolage entre une mâchoire d'orang-outang et un crâne humain non contemporain, la supercherie ne fut démasquée qu'une cinquantaine d'années après.

3. Difficulté d'une mise en histoire scientifique et pluridisciplinaire

La **difficulté d'entrer dans un raisonnement historique et scientifique** se révèle par la reconstruction d'une histoire collatérale géologique et paléontologique cohérente. S. Tirard concluait à **une théorie-récit** pour l'explication scientifique de l'origine de la vie basée à la fois sur les premières traces de vie et sur les différents modèles expérimentaux de reproduction des premières molécules du vivant non vérifiables (1996). Nous retrouvons cette tension spécifique entre dimensions historique et théorique des savoirs paléontologiques. Les premières archives paléontologiques de vie sur Terre permettaient de donner une dimension historique en situant la première borne de l'histoire des êtres vivants. Pour la suite de cette histoire le double archivage stratigraphique et paléontologique constituent les contraintes empiriques de ce récit scientifique. Et il est aussi la clé de voûte du questionnement et du raisonnement des naturalistes du début du XIX^e siècle. Le premier modèle explicatif est d'ordre quantitatif, l'augmentation des faunes proches de l'actuel - vertébrés et invertébrés - dans les strates les plus élevées donc les plus récentes. Le second modèle explicatif est d'ordre qualitatif, le progrès des faunes de vertébrés. Il est illustré dans une série à la fois finaliste allant des poissons à l'homme et « terripète » allant des animaux aquatiques aux animaux terrestres. Ces lois ou principes démontrés par l'accumulation et la corrélation des données paléontologiques constituent des contraintes théoriques fortes pour la communauté scientifique. En effet la controverse de 1838 met en avant la remise en cause possible mais surtout la résistance de la loi du progrès des faunes de vertébrés. Les deux camps valent leur argumentation pour la soutenir, malgré leurs registres explicatifs opposés. Tout l'intérêt de la problématisation historique réside dans la richesse des méthodologies qui contraignent le raisonnement des scientifiques. Or cette histoire collatérale replaçant les fossiles dans leurs encaissements sédimentaires superposés est complètement détournée par les élèves de 4^{ème} de collège. Des connaissances plaquées sous l'autorité des médias et des savants se sont substituées à un modèle explicatif construit. Tout l'intérêt de la problématisation scolaire réside dans le questionnement d'une donnée admise, l'origine aquatique des premiers êtres vivants. L'apprentissage vise alors les méthodologies paléontologiques ayant permis l'établissement des savoirs. Et certains élèves réalisent véritablement lors du débat en classe la différence entre une histoire imaginaire romancée et une histoire scientifique argumentée. Whewell (1794-1866), minéralogiste anglais membre de la Société Royale de Londres, réunissait les sciences historiques –géologie, paléontologie et théories sur l'origine du vivant- sous le terme de **sciences « palétiologiques »** (Hooykaas, 1970, p. 9). Leur spécificité est de reconstruire une histoire scientifique à partir des archives du passé et du principe d'analogie avec le présent. Seule la corrélation des indices empiriques multipliés avec les contraintes théoriques de la biologie –anatomie de la faune actuelle, développement embryonnaire, écologie- permet de construire un savoir paléontologique. Or le degré de certitude des savoirs

construits est forcément moindre par rapport aux sciences expérimentales biologiques ou physiques dont les résultats sont reproductibles. En conséquence le savoir apodictique est fortement dépendant des possibles envisagés non vérifiables. C'est pourquoi les problématisations produisent aussi difficilement un savoir assertorique consensuel mais plutôt **des nécessités conditionnelles**. Par exemple si la mandibule du fossile de Stonesfield est vraiment constituée d'une seule partie osseuse alors nécessairement des Mammifères existaient dès la période du Jurassique. Ou encore selon Geoffroy, si la loi de progression des faunes de vertébrés dans les différentes strates chronologiques est respectée, alors nécessairement les Marsupiaux trouvés dans le Jurassique ne sont pas des Mammifères. Ce sont des nécessités construites sous condition de possibles ou probables lors d'une démarche heuristique. Or ces premiers arguments de causalité restent soumis à vérification et certains ne pourront jamais être validés. Ce principe fondamental d'analogie prudente à l'actuel ne permet pas de lever le doute, d'où les controverses nombreuses en paléontologie.

CINQUIÈME PARTIE : SYNTHÈSE ET MISE EN PERSPECTIVE DES TROIS ÉTUDES COMPARATIVES SCOLAIRES ET HISTORIQUES : DISCUSSION SUR LES FONCTIONS ÉPISTEMOLOGIQUES ET DIDACTIQUES DES CONTROVERSES

Nous venons d'étudier trois cas de discussions à propos des fossiles, gérées à trois niveaux scolaires -CM1, CM2 et 4^{ème} de collège- ou vécues par différentes communautés scientifiques sur trois siècles-en 1660, dans la seconde moitié du XVIII^e siècle et en 1838-. Nous avons comparé des situations de débats à l'école et au collège et des controverses historiques après rapprochement par un problème commun et un obstacle épistémologique convergent. L'origine et la nature des fossiles, l'identité d'un fossile et la mise en histoire des êtres vivants sur Terre constituent les problématiques communes. En parallèle l'artificialisme, l'animisme et l'analogisme constituent les obstacles épistémologiques convergents. Leur récurrence en milieu scolaire et en histoire des sciences interpelle. C'est sous l'angle de la problématisation et de l'élaboration des espaces-problèmes, générés dans un contexte de débat ou de controverse, que nous voulions approfondir l'analyse épistémologique et didactique car c'est « l'effort de rationalité et de construction qui doit retenir l'attention de l'épistémologue » (Bachelard, 1938/2004, p. 20). La construction de raisons autour du concept de fossile s'est réalisée selon différents niveaux possibles de problématisation soit à l'école et au collège, soit au sein de communautés savantes. Redécouvrir les étapes de la construction historique d'un concept aide à mieux comprendre le processus complexe d'enseignement-apprentissage si apprendre c'est accéder à des savoirs problématisés (Fabre, 1999a ; Orange, 2002). L'articulation entre les problématisations singulières scolaires et la problématisation évolutive opérée par la communauté scientifique permet d'aborder la complexité de la construction de la connaissance paléontologique en prenant des repères épistémologiques. Selon S. J. Gould l'étude des fossiles par Léonard de Vinci répondait à un questionnement anticipant une réfutation des explications communes du début du XVI^e siècle –origine diluvienne ou formation à partir de germes minéraux- et une validation d'une autre théorie de la Terre (Gould, 2001, p. 31-37). Les motivations de l'étude paléontologique de Vinci cherchant à expliquer autrement la présence des fossiles établissent trois fonctions épistémologiques indissociables -heuristique, argumentative et théorique- que nous avons retrouvées lors des problématisations étudiées. Nous allons donc aborder ces différentes fonctions épistémologiques des controverses en interaction permanente avec la construction de modèles explicatifs sur la nature, l'origine, l'identification et la chronologie relative des fossiles grâce

aux réalisations dans des classes ordinaires et aux éclaircissements apportés par l'histoire des sciences.

Nous retiendrons tout d'abord l'importance de la fonction heuristique. En tant qu'ouverture d'esprit bienvenue et de contradiction positive elle met « en marche une sorte de kaléidoscope logique qui bouleverse soudainement des rapports » explicatifs (Bachelard, 1940/2005 p. 136). Puis le questionnement émerge et les hypothèses multipliées vont développer une fonction argumentative qui va cibler une phénoménologie et la mettre en tension avec un registre des modèles, dualité épistémologique incontournable. Ensuite parmi toutes les pistes de solutions élaborées, cette même fonction argumentative peut permettre d'accéder à la construction de nécessités (Orange, 2003a). Ce positionnement scientifique essentiel, parfois difficile à atteindre, complète l'approche poppérienne d'un savoir explicatif et critique (Popper, 1979). Enfin la fonction théorique peut s'accompagner de plusieurs cadres épistémiques antagonistes ou non car « chaque théorie va constituer (comme le suggère l'histoire des sciences) un obstacle épistémologique à l'élaboration de la suivante » (Fabre, 1999a, p. 192). Nous terminerons par une réflexion sur l'intérêt d'une transposition didactique d'une communauté discursive, fonctionnement d'une société scientifique qui a permis le progrès de la connaissance paléontologique entre continuité et rupture qui inspire l'épistémologie contemporaine.

1. La fonction heuristique plurielle des controverses dans le questionnement et la problématisation à propos des fossiles

Un questionnement fécond, par des problèmes ciblés clairement identifiés et partagés par une communauté, fonde la recherche scientifique et la découverte de nouveaux savoirs « C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. » (Bachelard, 1938/2004, p. 16).

1. 1 La fonction heuristique des controverses en histoire de la paléontologie

En histoire de la géologie certains savants ont été remarqués pour leur capacité à avoir posé les bonnes questions sans pour autant avoir apporté les solutions « Félicitons les De Sauvages,

les De Saussure²⁴⁰, d'avoir ouvert toute grande des portes fécondes, en léguant des questions lucides plutôt que des solutions hasardeuses » (Ellenberger, 1994, p. 337). Le choix d'une problématisation par rapport à une résolution de problème anticipée est franchement avancé. En histoire de la paléontologie nous pouvons déceler une évolution de cette posture de questionnement et de doute en des problématiques cernées au cours des différentes discussions étudiées. C'est d'abord **une liberté de doute que s'octroie Du Hamel sur le problème de solidité des pierres en 1660** avec beaucoup de prudence. En effet il construit un dialogue entre trois personnages, Ménandre, Théophile et Simplicius, au milieu du XVII^e siècle. Mais la difficulté est de l'affilier à une théorie plutôt qu'une autre. Cartésien convaincu comme Ménandre, érudit des textes anciens comme Théophile, averti des idées nouvelles des chimistes comme Simplicius, à quel personnage s'identifie-t-il vraiment ? L'ambiguïté peut être voulue dans ces temps troublés où la science ne peut s'affranchir de la religion et elle s'exprime à travers le discours de Théophile « Sur la question (de dureté et de solidité des pierres), je dois engager une grande lutte avec le Stagirite (surnom donné à Aristote) ; à tel point, que je crains de donner à Simplicius, patron des Chimistes, une plus grande liberté et licence de me contredire. » (Du Hamel, 1660, livre 2, p. 189). La première liberté octroyée n'est-elle pas dans le doute qu'il veut installer en premier lieu comme il l'affirme d'emblée à propos de la définition des pierres supposées formées ou par concrétion d'une exhalaison ou par filtration d'un suc ? « Assurément, il y en a qui croient avoir quelque certitude là-dessus ; une telle dissension entre gens très savants oblige à douter d'une chose très mal connue. » (ibid., p. 184). Aussi la décision est-elle laissée aux lecteurs de choisir en connaissance de cause entre les différents arguments présentés tout au long de ce dialogue.

La posture heuristique de Voltaire est aussi caractéristique **sur le problème de l'origine et de la nature des coquilles fossiles** dans la triade Guettard -Voltaire -La Sauvagère du XVIII^e siècle. Il tient volontairement le rôle de questionner la communauté scientifique sur la généralisation avancée d'une origine organique marine des coquilles fossiles en plein cœur des montagnes. Délibérément il multiplie les autres modèles explicatifs : léger déplacement des rivages actuels ou transport par les pèlerins si les fossiles ont une origine marine, assèchement d'anciens lacs si les fossiles ont une origine dulçaquicole, et pourquoi pas admettre une végétation spontanée de germes coquilliers comme le soutient La Sauvagère ou une création par un « jeu de hasard » pour les fossiles n'ayant pas d'analogues actuels. Ces deux dernières hypothèses reviendraient alors à remettre en cause même leur origine organique. Le doute sur l'origine des fossiles est encore bien ancré au siècle des Lumières à tel point qu'il peut générer des théories encore plus anecdotiques. Ce fut le cas, par exemple, d'une autre théorie contemporaine, **l'origine entomologique des fossiles imaginée par Barrington** en 1781 (Sarjeant & Mitchell, 2001). Avocat, savant éclectique et vice-président

²⁴⁰ De Saussure, H.-B. (1779-1796). *Voyages dans les Alpes, précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève* (4 vol). Neuchâtel : L. Fauche-Borel.

de la Royal Society de Londres, Daine Barrington vit aiguïser sa curiosité à propos des fossiles lors de la discussion à l'issue de la présentation d'un poisson fossile en 1773. Les traces fossiles avaient été interprétées très différemment, comme des écailles de poissons ou comme une queue de castor ! En référence aux constructions entomologiques souterraines, à la présence d'insectes vivants dans les profondeurs minières et à leur capacité d'attaquer la roche, il conçoit une origine animale originale car indirecte. Farfelues aujourd'hui, ces diverses théories ont un intérêt épistémologique non négligeable. Leur fonction heuristique est une réponse au refus principal d'une théorie admise par la communauté scientifique. En France, Voltaire n'adhère pas au consensus d'une origine marine car il lui est impossible d'accepter les conséquences d'un déplacement de l'Océan Indien qui tient compte des fossiles exotiques en France. La genèse des montagnes par la mer, surtout, lui semble impensable²⁴¹. Et, à partir de 1768, il doute même d'un temps extrêmement long que cela supposerait contrairement à ces premiers écrits de 1738 dans lesquels deux millions d'années ne semblaient pas l'effrayer (Gohau, 1990b, p. 152). En Angleterre, Barrington conteste l'origine diluvienne des fossiles. Il remet en cause une lecture littérale de la Bible, mettant en avant l'impossibilité d'une arche assez grande pour tenir tous les végétaux et animaux, qui plus est, exclusivement terrestres. De plus si le déluge est d'origine marine ou pluviale les animaux marins et dulçaquicoles sont incompatibles. Par ailleurs il remet aussi en cause la présence de coquilles fossiles dans les montagnes suite à des recherches personnelles infructueuses et il ne conçoit pas la disparition des espèces. Les théories fixistes de Voltaire et de Barrington montrent l'intérêt du questionnement dans leur raisonnement et l'importance de l'imagination devant un problème posé à résoudre.

Passons maintenant au **doute de Blainville**, qu'il souleva avec beaucoup d'insistance au sein de la communauté scientifique française et européenne de la première moitié du XIX^e siècle. A propos du fameux Didelphe découvert dans les terrains jurassiques de Stonesfield en Angleterre, son incertitude est justifiée, au départ des échanges avec ses pairs, comme une posture nécessaire scientifique. Mais par la suite elle semble abusive puisqu'il remet en cause certaines caractéristiques observées par plusieurs de ses collègues sur les échantillons fossiles. Ces données empiriques ne rentrant pas dans son cadre théorique, il évoque les animaux étranges découverts récemment tant fossiles que vivants –les dinosaures et autres grands reptiles extraordinaires découverts abondamment en Europe et les marsupiaux australiens-.

²⁴¹ Cet obstacle est rappelé dans de nombreux écrits par Voltaire. En 1764, dans une lettre à La Sauvagère datant du 11 juin « Je suis dans un pays tout plein de ces productions terrestres que les savants s'obstinent à faire venir de la mer des Indes » (Voltaire, 1977-1993, tome 7, p. 733). En 1768, dans les *Singularités de la nature*, Voltaire écrit « Des courants d'eau ne peuvent produire lentement, dans des siècles innombrables, un suite immense de rochers nécessaires dans tous les temps » (Voltaire, 1768/1879, p. 140). En 1770, dans une lettre à Frédéric II du 20 août, Voltaire se positionne ainsi « « je ne pus m'empêcher de rire aussi de tous ces beaux systèmes, de celui de Buffon qui prétend que les Alpes ont été fabriqués par la mer » (Voltaire, 1977-1993, tome 10, p. 389). En 1777, dans une lettre à La Sauvagère du 10 août, Voltaire persiste contre cette idée « On rougira d'avoir dit que les Alpes et les Pyrénées ont été formées par les mers » (ibid., tome 13, p. 23).

Selon lui, ils illustrent la limite de validité de la loi de corrélation des organes. Et il fait appel au processus de fossilisation partielle au cours d'un temps long provoquant peut-être l'effacement de la suture et la cassure de l'échantillon. Et ne serait-il pas prêt à manipuler le registre empirique pour appuyer son modèle explicatif de série animale progressive, symbolisant le projet harmonieux du Créateur ? Derrière la question explicitée d'identification et de classification du vertébré fossile se cache le problème d'un ordre de succession des faunes passées et actuelles à la surface du globe et de la cause de cet ordre. Ce qui dirige sa conduite dubitative et son honnêteté scientifique peut être relativisé aussi en considération de son inclination permanente au doute et à l'opposition dont se moquait Cuvier. D'ailleurs concernant cette controverse de 1838, le problème ne fut clairement posé sous l'angle théorique de la création ou de la transformation des espèces que dans la synthèse du rapport du grand prix de sciences physiques de l'Académie des sciences remporté par Bronn en 1856 (Bronn, 1856 ?) et établie par Adolphe Brongniart l'année suivante. (Brongniart Ad., 1857).

L'interrogation de la nature, de sa biodiversité actuelle et passée grâce aux archives paléontologiques a sollicité des modèles explicatifs historiques variés. Elle sollicite aujourd'hui la théorie de l'évolution comme modèle explicatif synthétique et comme paradigme « De Darwin à nos jours les sciences de la vie ont appris que la plupart des problèmes qu'elles s'étaient posés au XIX^e siècle ne pouvaient trouver de solution que par un changement d'échelle de l'objet d'étude et par une nouvelle façon d'interroger » (Canguilhem, 1988/2000, p. 118-119). Du XVII^e au milieu du XIX^e siècle c'est la même posture qui a favorisé un changement de problématique. Ainsi l'objet fossile, jeux de hasard enfoui dans la terre, puis objet unique de collection, est-il devenu un outil de datation relative, archive stratigraphique référencée internationalement.

1. 2 La fonction heuristique des désaccords en didactique

Selon l'idée d'une transposition didactique et d'une référence aux pratiques scientifiques pour les apprentissages, **apprendre à problématiser c'est apprendre à questionner**. Or « l'enseignement tend à fournir à l'élève des *réponses*, à des questions *qui ne sont pas, pour lui, posées* (si elles l'ont été par l'enseignant) ; l'*activité d'appropriation* consisterait alors à élaborer des questions, à se poser implicitement *la question des questions*, et l'*activité de l'enseignant* consisterait pour une part à créer des situations favorisant l'activité questionnante [...] » (Chevallard, 1985, p. 88). Effectivement dans les situations didactiques gérées par l'enseignant, celui-ci bien souvent prend le rôle principal de questionneur alors que le questionnement des élèves se dérobe (Maulini, 2005a). S'il veut favoriser la problématisation, l'enseignant devra libérer le questionnement des élèves. Le contrat didactique des situations-débats étudiées dans cette recherche a donné aux élèves la possibilité

d'apprendre déjà à poser eux-mêmes les questions au lieu d'apprendre des solutions comme des opinions. Nous pouvons ainsi différencier les problèmes formulés initialement par l'enseignant au départ du projet de classe, des problèmes construits par les élèves. Des questions ouvertes choisies par les enseignants du primaire sur la définition d'un fossile, sur sa formation ou sur ses intérêts, les élèves ont dégagé des questions « vives », reconnues et méritant d'être débattues par la classe. En CM1 elles portaient sur l'origine artificielle des fossiles ou sur leur croissance minérale par opposition à une origine naturelle organique ; en CM2 elles portaient sur l'identité des fossiles d'ammonites avec une diversité d'êtres vivants actuels et sur la parenté entre une ammonite marine disparue et un escargot terrestre actuel. Quant aux élèves de 4^{ème} ils ont transformé une problématique générale de chronologie relative entre divers groupes d'êtres vivants fossiles et actuels, animaux et végétaux, en un questionnement systématique. Ils ont clairement explicité les problèmes de précession, de complexification et de parenté entre les animaux aquatiques et terrestres. Dans chaque classe la situation-débat a conduit les élèves à se questionner aussi sur la méthodologie des paléontologues et la validation des savoirs admis aujourd'hui en paléontologie : la validité d'une reconstitution à partir d'un échantillon fossile partiel en CM1, la validité d'une comparaison par analogie d'une coquille enroulée en CM2, la validité d'une origine marine des premières formes de vie en 4^{ème} de collège. Ce type de questionnement explicité par les élèves, nombreux à se mobiliser parfois d'une façon pacifique mais insistante, montrait l'importance qu'ils accordaient à cette facette de la construction du savoir paléontologique. Certains semblaient réaliser la différence entre une histoire scientifique comme l'histoire des êtres vivants sur Terre et une histoire romancée. Mais contrairement à la dernière controverse historique, jamais les élèves n'ont approché la problématique d'une chronologie de paléocénoses en regard d'une succession de strates. En quelque sorte les élèves ne corrèlent pas les fossiles aux couches terrestres, ce qui constitue pourtant le fondement du concept. Comprendre les théories et les concepts actuels en lien avec la paléontologie formulés dans les instructions officiels ou les manuels scolaires, « c'est retrouver les questions oubliées auxquelles ces propositions répondent » (Fabre, 1999a, p.193). C'est pourquoi le positionnement d'un problème est un des processus fondamentaux de la construction des savoirs scientifiques. Ces postures épistémologiques de doute et de questionnement en histoire des sciences peuvent être mises en regard de celles construites par les élèves du primaire et du collège qui ont prouvé leur capacité à poser des questions pertinentes résolues ou encore d'actualité. Mais si l'attitude critique et le questionnement sont bénéfiques au service de savoirs scientifiques problématisés, le doute systématique, lui, n'est pas aussi constructif. Le doute permanent désoriente la pensée et paralyse le débat (Maulini, 2005a). Il peut aussi effrayer les élèves, comme ce fut le cas en 4^{ème} de collège, devant l'ampleur de la tâche remontant aux questions existentielles de l'origine de la vie et de l'origine du monde.

Des éléments de certitudes sont nécessaires pour que la raison puisse ancrer et développer une argumentation.

En comparaison la fonction heuristique se développe différemment selon l'étude historique ou scolaire. L'histoire de sciences nous apporte des éclairages sur des moments privilégiés de découverte dans lesquels l'investigation est à son point culminant. Le XVIII^e siècle est marqué par l'exploration encore tout azimut de la nature et de l'origine des fossiles –des pierres figurées, des semences minérales, des coquilles marines ou dulçaquicoles ou transportés par l'homme, et même une construction entomologique. La communauté scientifique du XIX^e siècle interroge l'identité des nombreux fossiles énigmatiques découverts, les grands reptiles extraordinaires des terrains du Secondaire mais aussi la diversité des coquilles fossiles ou les petits mammifères exceptionnels tels celui de Stonesfield. La valeur heuristique des analogies est fondamentale pour la validation recherchée des déterminations paléontologiques et la référence aux classifications zoologiques de la faune actuelle.

En didactique **la méthode heuristique est privilégiée et s'inspire de la maïeutique socratique de Platon**. C'est une véritable expertise du questionnement et de la confrontation. Cette stratégie du dialogue est instaurée par le maître qui sait au bénéfice de l'élève qui apprend en prenant conscience d'une vérité à atteindre. La discussion peut être fructueuse parce que chacun des deux interlocuteurs porte en soi les éléments de recherche de la vérité. L'un instruit l'autre et peut apporter ses certitudes, ses connaissances, ses observations qui vont être révélées par l'échange dialectique. Un usage rigoureux de l'interrogation conduit surtout **à exposer des contradictions** qui amènent à une vérité consensuelle. Ainsi l'interlocuteur habile qu'est Socrate va favoriser le questionnement, la confrontation, la mise en avant des contradictions, le développement des positionnements réciproques développant une véritable problématisation. C'est un véritable art de la rhétorique liée à la confrontation qui mobilise cinq stratégies : la reformulation systématique, le rappel des acquis antérieurs, la mise en évidence des paradoxes, l'insistance sur les oppositions, l'élaboration systématique de typologies (Meirieu, 1987/1993, p. 115). Plus fortement les paradoxes menés jusqu'à l'aporie²⁴² sont des situations privilégiées chez Platon. Par exemple, en rapport avec l'enseignement nous avons retenu préférentiellement un extrait du dialogue du *Ménon* de Platon sur le paradoxe d'apprendre à partir d'une question précise : la vertu peut-elle s'enseigner ? L'impasse est la suivante : « dilemme : on ne peut chercher ni ce qu'on connaît, ni ce qu'on ne connaît pas, ce qu'on connaît parce que le connaissant, on n'a pas besoin de le chercher, ce qu'on ne connaît pas parce qu'on ne sait même pas ce qu'on doit chercher. »

²⁴² Aporie : D'origine grecque « aporia » signifie impasse, sans issue, embarras. Au sens le plus fort, moderne, c'est un problème insoluble, un obstacle insurmontable. Mais il a pu prendre un sens faible, selon Aristote, d'une difficulté à résoudre qui a mis en présence « deux opinions contraires et également raisonnées en réponse à une même question ». *Encyclopedia Universalis* (1985, Thesaurus 1, p. 161).

(Ricoeur, 1996). Ainsi l'interlocuteur de Socrate explore sans succès plusieurs voies à partir d'exemples concrets qui se révèlent mutuellement contradictoires. Dans la structure des dialogues socratiques les fonctions du questionnement et de la contradiction sont déterminantes. Elles ont comme objectif de faire changer de registre l'interlocuteur pour l'élever vers une pensée rationnelle, de faire basculer l'élève du monde des opinions et des dogmes au monde de l'argumentation. Ainsi Socrate amène son élève à dépasser le monde sensible pour aller vers le monde rationnel « renoncer au pittoresque à la fois chatoyant et rassurant du concret et du multiple pour aller vers l'unification de l'essence » (E.U. 1985, Thésaurus 1, p. 161). Dans ce cas l'aporie chez Platon garde un sens fort mais elle peut être dépassée. C'est une situation provisoire qui peut évoluer soit par un nouvel élément apporté dans le raisonnement logique, soit en posant le problème autrement. Au XIX^e siècle la méthode heuristique, appelée démarche d'investigation dans les nouveaux programmes du primaire et du collège, est une stratégie de redécouverte que l'enseignant choisit d'installer alors qu'il détient une partie du savoir. L'intérêt est double : connaître le cheminement et les détours des élèves et leur faire s'approprier d'une façon active ce savoir visé. Les élèves du primaire et du collège ont montré combien ils peuvent mobilisés de questionnements et d'arguments empiriques et explicatifs guidés par l'enseignant. Dans leur joute oratoire, pour la redécouverte de la nature, de l'origine des fossiles, de leur identité par rapport à la faune actuelle et de l'histoire des vivants sur Terre, ils ont plutôt exposé que l'apprentissage devait se centrer à contraindre leur champ des possibles proluxe.

2. La fonction argumentative des controverses en paléontologie

2. 1 Problématisation et argumentation : se repérer entre un registre empirique et un registre des modèles mis en tension

L'attitude critique de l'activité scientifique s'exprime, outre le questionnement, dans le choix raisonné d'arguments. Un consensus est repéré sur la nécessité des accords préliminaires entre les protagonistes pour la dynamique d'une discussion : des contraintes empiriques et un registre explicatif partagés par tous les élèves (Orange, 2002, pp. 38-39) ou un cadre commun de significations partiellement partagées dans la classe (Schneeberger & Ponce, 2003) ou un accord sur certains faits ou lois (Plantin, 2005, p. 22). Ce consensus met en avant **l'interaction entre deux pôles épistémologiques, le phénoménisme²⁴³ et le rationalisme,**

²⁴³ Ce terme est emprunté à Robert Blanché –cité par G. Gohau, 2000a- dans son ouvrage de 1975, *L'induction scientifique et les lois naturelles*, Paris : PUF. Il parle d'une « déontologie bipolaire du savant » : il nomme positivistes ou phénoménistes ou empiristes, les savants qui consignent les phénomènes ; et il les oppose aux

qui permet de structurer la pensée scientifique « l'accumulation d'un certain nombre de *faits*, c'est-à-dire une pure collection de données d'observation ou d'expérience, ne constitue pas une science ; les *faits* doivent être ordonnés, interprétés, expliqués. En d'autres termes, c'est seulement lorsqu'elle est soumise à un traitement théorique qu'une connaissance des faits devient une science » (Koyré, 1973, p. 290). Preuve en est les différentes significations des corps fossiles -jeux de hasard, figures de pierre, pierres figurées, pétrifications, fossiles étrangers à la terre, monuments, archives, fossiles caractéristiques, fossiles stratigraphiques- qui traduisent la richesse des modèles explicatifs à propos de ces corps terrestres au sein des roches et des montagnes. Et, dans notre cadre théorique, un débat problématisant en classe nécessite le développement d'argumentations pour ou contre des idées explicatives mises en tension avec des faits pour explorer diverses solutions (Orange, 2003a).

D'un point de vue historique cette complémentarité des registres empiriques et des modèles explicatifs a été longue à assumer au vu des controverses étudiées. Au XVII^e siècle les écrits de Du Hamel démontrent combien l'emprise des textes anciens et de leurs théories perpétuées est encore forte. C'est tout le mérite du texte dialogué de Du Hamel d'illustrer une pensée préscientifique dans laquelle les idées aristotéliennes sur la genèse et les propriétés des fossiles –compris au sens premier de corps terrestres- peuvent être discutées. Cette référence aux textes anciens perdure jusqu'au XIX^e avec La Sauvagère. Son modèle de végétation spontanée pour expliquer la présence de coquilles fossiles par des germes ou des semences dans la terre de son étang est un modèle antique récurrent d'une pensée animiste. Par opposition, d'autres savants comme Guettard s'enferment dans une posture empirique exclusive qui fera école. Fouchy illustre bien la courant positiviste du siècle des Lumières en résumant le travail de Guettard sur l'identification des encrinites –ou pierres étoilées appelées aujourd'hui calcaires à entroques- grâce à la découverte d'un analogue vivant ²⁴⁴

« à mesure qu'on a consulté l'observation, les conjectures sont devenues plus vrai-semblables, & l'inspection seule de l'animal même a pû les changer en certitude. C'est le sort ordinaire de toutes les questions physiques ; on dispute tant qu'on ne fait qu'imaginer ; l'observation seule peut lever les doutes & conduire à la vérité » (Fouchy, 1755, p. 34).

Valmont de Bomare la reprendra à son compte dans l'article « fossile » de son *Dictionnaire raisonné universel* en interpellant la démarche des naturalistes de son siècle et le nombre de conjectures différentes sur l'origine de ces fossiles (1768, t. 8, p. 184). De nombreux savants du XVIII^e comme du XIX^e siècle adhéreront à ce courant positiviste. Cuvier aussi défendait la fiabilité des archives paléontologiques discontinues contre les vues théoriques continuistes de Lamarck. Il établissait une frontière nettement marquée entre ses recherches paléontologiques

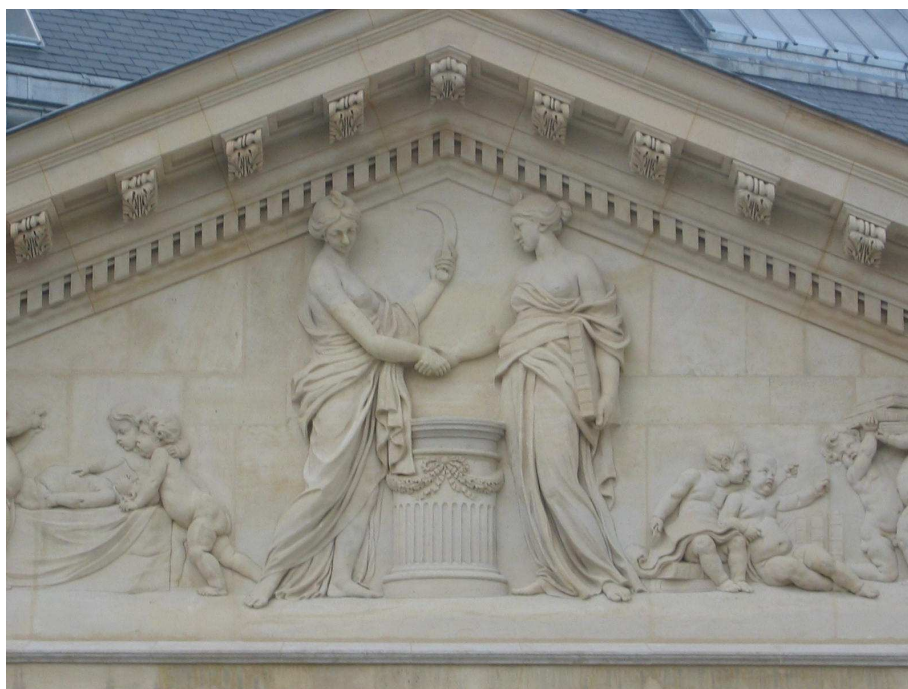
rationalistes qui cherchent à expliquer ces phénomènes. Ces deux divisions épistémologiques ont l'intérêt de fonctionner pour toutes les époques.

²⁴⁴ L'auteur fait référence à la récolte d'un nouvel animal marin -un lys de mer, appelé palmier marin au XVIII^e siècle- Il rappelle sa mise en valeur dans le cabinet de curiosité de M.^{de} de Bois-Jourdain qui a permis à l'académicien J-E. Guettard (1755) de le dessiner et de lever tous les doutes sur la nature organique des corps fossiles, les encrinites.

et les vues théoriques de Geoffroy Saint-Hilaire sur la paléontologie évolutive et il le récusait vertement lors d'un échange verbal en 1829 « Nous, nous savons nous borner à décrire » (Bourdier, 1960a, p. 32). De même Blainville affichait une volonté de rester sur le registre empirique lors de la controverse de 1838 qui l'opposa à Geoffroy Saint-Hilaire, en accusant même ce dernier de se laisser emporter dans des divagations théoriques.

Nous constatons donc une pérennité de la dialectique entre empirisme et théorie. Rappelons que ce dipôle épistémologique a été personnifié en 1580 dans les *Discours admirables* de Palissy, partisan d'une science empirique par opposition à une science scolastique faite d'irrationnel et de tradition des textes anciens. Ces deux facettes de l'activité scientifique doivent répondre pourtant à l'harmonie d'un « exact équilibre ».

Iconographie N°13 : **Les sculptures allégoriques de la Théorie et de la Pratique**
(photographie personnelle du fronton de l'ancienne faculté de médecine à Paris, datant du XVIII^e siècle)



La Théorie, portant un livre et symbolisant le savoir livresque, et la Pratique, portant une serpe et symbolisant le savoir par la manipulation, se donnent la main. Belle métaphore de deux mondes qui se doivent de travailler ensemble. Modulés sous différents termes -lois et faits, spéculation et application, méthode et résultats, modèles et données empiriques- ils doivent être intégrés dans un raisonnement non pas en opposition mais en complémentarité indissociable « la question que la théorie pose par voie déductive est inséparable de la réponse que fournit l'expérience et d'où se tire la loi par voie d'induction » (Langevin, 1964, p. 181). La paléontologie conforte la question épistémologique des rapports entre les faits et les explications. Ainsi les objets fossiles similaires ne sont pas porteurs des mêmes concepts

selon le regard du naturaliste. Au XVIII^e siècle les coquilles fossiles seraient produites soit par juxtaposition d'un encroûtement calcaire aux sources pétrifiantes ou dans la mer (Guettard) soit par intussusception d'un germe coquillier, c'est-à-dire une croissance de l'intérieur mobilisant un processus d'assimilation comme la nutrition des végétaux et des animaux (La Sauvagère). Au XIX^e siècle les mêmes arguments empiriques paléontologiques, un fossile de marsupial dans les terrains jurassiques, peuvent être intégrés en faveur d'un transformisme associé à un progressionisme (Geoffroy Saint-Hilaire) ou en faveur d'un stationnarisme réfutant le progressionisme (Lyell). Les idées de succession de faunes fossiles, de modifications progressives des générations fossilifères, et de formes intermédiaires -formes de passage entre des groupes zoologiques- ont donné lieu à des reconstitutions historiques différentes de la vie sur Terre selon l'angle explicatif envisagé, créationniste ou transformiste. Ainsi les mêmes objets paléontologiques tels les fossiles de Stonesfield peuvent être interprétés différemment : un reptile, maillon disparu d'une chaîne unique d'êtres vivants créés à l'origine selon un créationnisme rétrograde (Blainville) ; un marsupial, étape de développement annonçant le groupe des mammifères dans les terrains tertiaires selon un transformisme phylogénétique (Geoffroy Saint-Hilaire). Ils ne sont pas déterminants pour accréditer l'une ou l'autre théorie. Par leurs archives incomplètes ils ne permettent pas de réfuter pour autant le transformisme. Le fait paléontologique est flexible selon la théorie qui le prend en compte.

Si les savants peuvent être partisans d'une posture positiviste ou rationaliste, les élèves ont bien plus de mal à situer ces différents raisonnements. **D'un point de vue didactique** suivant le courant de pensée bachelardien, le « double mouvement vers un empirisme actif et un rationalisme appliqué » est valorisé au niveau de l'analyse du chercheur (Martinand, 2001b). Cette dynamique est réalisée par les représentations des espaces problèmes, telles celles des espaces de contraintes (Orange, 2000) et des espaces de contraintes et de possibles (Crépin-Obert, 2007b & 2009). Le discernement et l'articulation nécessaire entre le registre empirique et le registre des modèles ont été approchés par les élèves, guidés par l'enseignant. Dans la classe de CM1 les élèves mettent en tension, par exemple, la taille des animaux fossilisés et la qualité des détails d'ornementation pour réfuter l'idée de fabrication des fossiles par les hommes préhistoriques. Sans rapport au temps, ils n'ont pas discuté de leur existence séparée ou contemporaine. Et ils mettent en tension l'imbrication du fossile dans une roche encaissante ou un moulage pour valider une origine naturelle. En CM2 la coquille commune à l'escargot terrestre et à l'ammonite marine conduit les élèves à envisager une filiation directe par métamorphose entre ces deux êtres vivants. Par contre, selon certains, les différences morphologiques repérées entre les deux coquilles s'opposeraient à ce lien de parenté envisagé. En 4^{ème} de collège la thèse d'une origine de vie marine sur Terre, acceptée dans un premier temps, est questionnée puis corrélée à l'hypothèse de découvertes de fossiles d'animaux uniquement aquatiques.

Les savoirs paléontologiques, comme tout savoir scientifique, sont des savoirs problématisés explicatifs. L'argumentation est au cœur du processus de construction des raisons. Et elle est réalisée par une relation entre un registre empirique et un registre des modèles explicatifs. Tous deux sont construits sans survalorisation de l'un par rapport à l'autre comme l'ont défendu de nombreux savants du XVIII^e et du XIX^e siècle. Le pouvoir explicatif réside dans cette corrélation, voire dans une mise en tension entre les deux registres. Les conditions de possibilités d'un débat problématisant portent sur une argumentation soutenue faisant interagir ces deux catégories épistémologiques.

2. 2 Problématisation et caractère apodictique des savoirs : possible et nécessaire dans la construction des concepts paléontologiques

Après le processus de la problématisation, voyons les produits de la problématisation, les raisons développées par une argumentation. Deux types d'argumentation ont été différenciés, une « argumentation de preuve » et une « argumentation sur les possibles » (Orange, 2003a). La première, distanciée du vrai et du faux, produit des impossibilités ou des nécessités et la seconde avance des solutions proposées. Mais le point crucial réside dans la notion de contraintes dans le raisonnement, voire de nécessités sur les modèles explicatifs car le savoir scientifique est spécifiquement apodictique. Des contraintes empiriques et théoriques conduisent à un raisonnement du type « il se pourrait que... » ou « cela peut être considéré autrement... » qui offre des possibilités nouvelles d'ouverture sur un modèle explicatif. D'autres contraintes empiriques –ou les mêmes- et théoriques conduisent à un raisonnement « il faut donc ... » ou « cela ne peut être autrement que ... » qui dégage des nécessités sur les modèles explicatifs. Ce **passage du possible au nécessaire** est un des points les plus intéressants d'un raisonnement scientifique « Connaître c'est moins buter contre un réel que valider un possible en le rendant nécessaire » (Canguilhem, 1965/2009, p. 47). Les relations entre problèmes et savoirs scientifiques à caractère apodictique ont été questionnées à travers l'évolution des problématisations à propos du concept de « milieu intérieur » chez Claude Bernard (Orange, 2003b). De même en histoire de la paléontologie des certitudes empiriques et des cadres théoriques pertinents ont contraint les solutions vers des nécessités. Nous avons abordé **les savoirs paléontologiques construits par trois nécessités successives** : la nature organique des fossiles ; leur origine d'anciens êtres vivants organisés, marins ou dulçaquicoles ; la filiation entre les êtres vivants, passés et actuels, aquatiques et terrestres au cours des temps géologiques. Au cours d'un enseignement de la paléontologie les élèves du primaire et du collège ont pu développer des arguments en explorant un champ des possibles et en approchant ces mêmes nécessités. Les débats scolaires ou les controverses historiques abordant la paléontologie révèlent combien il a été ardu de faire passer les fossiles d'une

nature minérale à une nature organique, d'une origine artificielle ou créée à une origine naturelle d'anciens vivants, et enfin d'une succession prédéfinie d'êtres vivants à leur transformation contingente au cours d'une histoire de la vie sur Terre. Leur analyse par les espaces de contraintes et de possibles met en avant une frontière subtile à cerner parfois entre possible et nécessaire. L'explication scientifique est construite par un jeu raisonné d'ouverture sur des possibles et de fermeture sur des nécessités. Réaumur en 1720 marquait combien il était forcé d'admettre l'origine marine des faluns de Touraine. Et un siècle plus tard, Cuvier en 1812, met bien en avant que la présence d'une ancienne mer est bien la seule certitude arrêtée par les géologues du début du XIX^e siècle ! Une gradation pourrait-elle être envisagée pour comprendre comment de l'impossible la communauté scientifique est passée au possible, du possible au probable, du probable au conjectural et du conjectural au nécessaire ? La recontextualisation et l'analyse linguistique des interactions langagières entre protagonistes sont fondamentales. Le basculement du possible au nécessaire est délicat à cerner en histoire des sciences. Et, en classe de sciences, il est le plus souvent déclenché par les interventions enseignantes.

Par contre dans le cadre de nos débats scolaires ou des controverses historiques nous avons souvent eu affaire à un raisonnement qui établit **une interaction forte entre un argument de nécessité et un argument de possibilité**. Soit un argument de possibilité conditionne un argument de nécessité « s'il se peut que...alors il faut que... ». Inversement soit un nouvel argument de nécessité ouvre sur un argument de possibilité « s'il faut que... alors est-il acceptable de penser que ». Dans tous les cas les deux pôles, possible et nécessaire, sont donc intimement liés « la genèse du possible importe autant que la démonstration du nécessaire » (Canguilhem, 1965/2009, p. 47). Par exemple, le passage des pierres figurées aux fossiles étrangers à la terre marque l'acceptation d'une origine organique et surtout marine au début du XVIII^e siècle. Or la conséquence directe de cette nécessité, si elle est admise comme telle, bloque la communauté scientifique sur la nécessité secondairement provoquée, le déplacement des mers. Le problème de l'origine des fossiles est déplacé vers le problème de leur formation stratigraphique marine. De plus si la communauté scientifique accepte l'origine marine des bancs fossilifères, leur nombre et leur épaisseur amènent à concevoir un temps extrêmement long de dépôt d'autant plus que des couches constituent des reliefs importants. Le temps long devient une nécessité corrélée aux caractéristiques des couches géologiques – épaisseur de stratification, alternance de couches contenant des faunes littorales ou pélagiques, animaux disparus-. Mais concevoir les fossiles comme marqueurs de temps géologiques ne va pas de soi. Or ce devrait être la caractéristique principale du concept à construire dans l'enseignement. Les élèves de CM1 ont explicité le concept de temps long en considérant la complémentarité d'un fossile avec la roche encaissante. Ce qui les a conduit à une première nécessité, un moulage d'une coquille dans un substrat meuble tel le sable marin, et une nécessité corrélée, le retrait de la mer. Les élèves de CM2 ont approché ce concept de

temps long, en envisageant les caractéristiques morphologiques communes et différentes entre la coquille d'escargot terrestre et celles des fossiles d'ammonites disparues. Ce qui les a conduits à envisager la nécessité d'un lien de parenté par l'unité d'une coquille enroulée mais aussi la nécessité d'un temps long entre l'escargot et son ancêtre supposé, permettant l'acquisition de différences telles la diminution de taille. La classe de 4^{ème} a abordé ce concept par le biais d'une mise en histoire entre les animaux premiers nécessairement aquatiques et les animaux ultérieurs terrestres. La nécessité d'une filiation entre eux et l'idée d'une « amélioration » du vivant aboutit à la nécessité d'un temps long.

Un autre type d'interaction s'effectue entre **les impossibilités ou les non-nécessités qui génèrent en miroir des nécessités**. C'est ce temps long, hors de portée d'un champ explicatif cerné, qui bloque la pensée de certains savants du XVIII^e. Par corrélation Voltaire renvoie au rang d'impossibilité la présence d'une ancienne mer ayant formé les montagnes. Ce n'est pas tant la première nécessité construite d'une origine marine des coquilles fossiles que les conséquences nécessaires qu'elle implique qui entraîne le désaccord de Voltaire. Au contraire la plupart des élèves acceptent facilement l'idée d'une présence d'une ancienne mer couvrant le globe terrestre (CM2 et 4^{ème}) ou son retrait régional voire sa « disparition » (CM1). Le principe permanent de métamorphose en biologie (Rumelhard, 1995b, p. 342) pourrait s'appliquer en géologie pour régir l'esprit préscientifique des élèves du primaire et du collège. Cette contrainte ne sera questionnée qu'en classe de collège, plus sur la méthodologie du paléontologue que sur le savoir accepté. En synergie de cette impossibilité Voltaire préfère concevoir deux autres nécessités, l'assèchement de lacs de montagnes ou le transport de coquilles par les pèlerins. Et donc le savoir décliné comme nécessaire dans un système explicatif mobiliste est réfutable dans un système explicatif concurrent fixiste. Au XIX^e siècle la notion de temps long est admise. Il est structuré par quatre époques géologiques définies par des terrains et des fossiles caractéristiques. L'accumulation d'archives paléontologiques de plus en plus importantes dans la première moitié du XIX^e siècle, les découvertes de grands vertébrés différents de la faune actuelle et leur affiliation aux strates successives souvent bouleversées amènent la nécessité de catastrophes selon l'école de pensée de Cuvier. Pour Blainville et Geoffroy les catastrophes ne sont pas nécessaires pour expliquer la disparition des espèces et surtout les créations multiples sont impossibles.

« prononcer que les animaux des premières époques de la terre ne furent point liés à titre d'ancêtres à ceux présentement vivans ? il y auroit quelque témérité, je crois, à l'affirmer. L'idée contraire naît plus naturellement dans tous les esprits ; car autrement il faudroit que l'ŒUVRE des six jours eût été reprise, que de nouveaux êtres eussent été reproduits par une nouvelle création. Or, cette proposition, déjà contraire aux plus anciennes données historiques, répugne tout autant aux lumières de la raison naturelle qu'aux spéculations plus réfléchies des sciences physiques » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1828, Tome 17, p. 210)

En conséquence pour Geoffroy les mises en relation, entre les bancs fossilifères, entre fossile et vivant actuel au sein d'une même classification ont servi à dépasser le caractère discontinu

et parcellaire des strates fossilifères et à construire l'idée d'une unité de plan commun et donc la nécessité d'une filiation entre les êtres vivants actuels et anciens

« Quelques idées entrevues comme nécessaires, le retour des mêmes faits d'organisation, mais surtout la rigueur de plusieurs raisonnemens, avoient formé la conviction des partisans du système de l'évolution. C'est de quoi paroissent aujourd'hui fort peu s'inquiéter les partisans du système contraire : affectant une parfaite indifférence pour ce qui est raisonnement et explication, ils soutiennent qu'ayant multiplié les faits d'observation et puisé aux véritables sources, soit dans toutes les classes d'animaux, soit dans les organes d'âges différens, la science de l'organisation en est venue au point d'être en droit de prononcer souverainement » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1828, Tome 17, pp. 228-229).

Il est vrai que Cuvier parlait de « fait irrécusable » pour insister sur les différences entre les espèces anciennes et actuelles. De même en 1838 Blainville insista sur l'accumulation des différences entre les fossiles de Stonesfield et la faune connue de l'époque alors que Geoffroy mit en avant leurs analogies. C'est tout le problème du degré de variabilité accepté et du cadre épistémique sous-jacent. Actuellement la nature organique et l'origine d'anciens êtres vivants, la parenté entre les divers êtres vivants qui se sont succédé sur des millions d'années font partie des « faits » d'une histoire des êtres vivants sur Terre. **Le caractère de nécessité acquis peut faire basculer le même « objet » du registre des modèles ou théorique dans le registre empirique.** Un même argument, selon la problématique en jeu, peut appartenir au champ empirique ou au champ des modèles explicatifs.

Nous voudrions conclure sur la mise en valeur de la notion de **nécessités conditionnelles, caractéristiques d'une science historique** pour laquelle la validation expérimentale est impossible (Crépin-Obert, 2009). Cette identité épistémologique à laquelle la paléontologie est contrainte a été explicitée de plusieurs façons : le statut hybride de théorie-récit établi à propos de la quête scientifique et historique de l'origine de la vie (Tirard, 1996), les différentes utilisations du temps dans un raisonnement en géologie marquant l'opposition entre des sciences fonctionnalistes et des sciences historiques (Orange D., 2003), la survalorisation de l'expérimentation comme critère de scientificité qui porte préjudice aux sciences historiques et à la théorie de l'évolution (Rumelhard, 2008). Pour résumer les différentes causalités construites en paléontologie, voici la cascade de nécessités conditionnelles qui ont eu cours en histoire des sciences pour lutter contre des impossibilités. Nous les illustrerons chacune avec un passage représentatif du chapitre de l'*Hydrogéologie* de Lamarck. En voulant démontrer que « Des monumens authentiques et irrécusables attestent que la mer a réellement autrefois séjourné dans des points de la surface du globe où maintenant elle n'est plus », il reprenait tous les points de rupture de la connaissance paléontologique qui nous ont intéressés. Si les coquilles fossiles ressemblent autant aux coquilles actuelles marines exotiques ou non, elles ont nécessairement la même origine. La nature organique est admise à l'encontre d'une genèse minérale ou artificielle « Les coquilles fossiles connues sont presque toutes des coquilles marines, c'est-à-dire, des coquilles dont les animaux ont vécu nécessairement dans la mer. Cette assertion est fondée sur l'analogie incontestable du très grand nombre de coquilles fossiles observées, avec les coquillages

marins maintenant connus. » (Lamarck, 1802a, pp. 63-64). Et si les coquilles fossiles sont marines, alors la mer a nécessairement formé les terres fossilifères dans un temps plus ancien. L'origine généralement marine est admise à l'encontre d'une origine diluvienne catastrophiste « il sera toujours très-difficile de contester l'authenticité des monumens divers répandus sur la surface des parties sèches du globe, et qui attestent que les parties découvertes de cette surface ont été autrefois ensevelies sous les eaux pendant une suite de siècles, dont le terme n'est pas connu. » (ibid., p. 84). Ensuite si la mer a formé l'ensemble des dépôts stratifiés, un temps très long est nécessaire. Le temps long est admis et une chronologie relative est établie à l'encontre d'un unique temps de dépôt historique

« Toute partie sèche de la surface du globe où la présence et l'abondance des fossiles marins prouvent qu'autrefois la mer a séjourné dans cet endroit, a reçu nécessairement pour un seul passage de la mer, deux fois des coquilles littorales et une fois des coquilles pélagiennes, en trois dépôts différens : cela ne saurait être contesté. [...] un pareil passage de la mer n'a pu s'opérer complètement qu'avec un espace de tems d'une durée en quelque sorte immense » (Lamarck, 1802a, p. 73).

Enfin si les fossiles des dépôts anciens sont analogues aux vivants actuels, alors les espèces fossiles et actuelles ont un lien de parenté par modifications dans la descendance. La transformation par filiation au cours des temps géologiques est admise à l'encontre de créations successives.

« Combien cette antiquité du globe terrestre s'agrandira encore aux yeux de l'homme, lorsqu'il se sera formé une juste idée de l'origine des corps vivans, ainsi que des causes du développement et du perfectionnement graduels de l'organisation de ces corps, et surtout lorsqu'il concevra que, le tems et les circonstances ayant été nécessaires pour donner l'existence à toutes les espèces vivantes telles que nous les voyons actuellement, il est lui-même le dernier résultat et le *maximum* actuel de ce perfectionnement, dont le terme, s'il en existe, ne peut être connu ! » (Lamarck, 1802a, p. 89-90)

A l'aide des fossiles le temps géologique peu à peu se construit encore empreint d'un déterminisme chez Lamarck. La notion de nécessité conditionnelle est une autre façon d'exprimer la spécificité d'une démarche hypothético-déductive dans une science historique. Ainsi la géologie et la paléontologie ne peuvent faire autrement que de fonder leurs raisons sur des principes –principe de superposition, principe de chronologie relative, principe de corrélation des formes et de subordination des caractères pour les organes, principe d'identité paléontologique des strates.

Un autre point abordé est **la corrélation entre loi et nécessité** et surtout **la question de savoir si parler de loi en paléontologie est fondé**. Geoffroy Saint-Hilaire et Blainville (avant 1839) semblaient s'accorder sur la « loi de progression des êtres vivants ». Or c'est bien, en partie, l'impossibilité de remettre en cause cette loi qui génère la controverse de 1838 car elle rendait nécessaire la position du groupe des mammifères exclusivement dans les terrains tertiaires. De même les « invertébristes » et particulièrement les conchyliologistes, se virent offrir deux outils intellectuels en opposition : celui des **espèces analogues** par Jean-Baptiste

Lamarck et celui des **espèces perdues** par Alcide d'Orbigny²⁴⁵. Le premier concept fut un argument majeur pour asseoir une transformation graduelle des espèces unies par descendance commune « les animaux perdus sont, par voie non interrompue de générations et de modifications successives les ancêtres des animaux actuels » (Geoffroy Saint-Hilaire & Serres, 1828, p. 208). Au contraire, via le second concept, il est impossible de réunir génétiquement même deux espèces identiques non contemporaines « les êtres se sont succédé à la surface du globe, non par modification des formes animales, par passage, mais bien par extinction des espèces existantes, et par le renouvellement des espèces à chaque époque géologique, l'extinction des espèces d'une faune à chaque étage est évidemment un fait général » (Orbigny, 1851, p. 252). Le postulat d'un catastrophisme absolu sur Terre et le manque de preuves paléontologiques telles des formes de transition servent d'argument de fond. En définitive le débat se situe entre deux philosophies de la nature, l'une créationniste et l'autre évolutionniste, affiliées à l'époque respectivement à des catastrophes discontinues ou à des changements graduels. Le problème ne fut clairement posé sous cet angle que dans la synthèse du rapport du grand prix de sciences physiques de l'Académie des sciences établie par Adolphe Brongniart l'année suivante « les êtres de formes différentes qui apparaissent successivement sur le globe sont-ils le résultat d'une création nouvelle ou les descendants modifiés et transformés des anciennes espèces qui ont disparu ? » (Brongniart, 1857, p. 219). Le véritable nœud du problème est posé a posteriori de la recherche et nous pouvons mesurer l'écart avec la formulation de la question donnée au concours en 1850 qui voulait engager les savants de l'époque pour mettre fin à la controverse (Bronn, 1856 ?). Ce problème²⁴⁶ toujours épineux en 1850 est posé à l'ensemble de la communauté scientifique européenne par l'Académie des sciences de Paris. Le paléontologue allemand Bronn²⁴⁷ qui remporta le prix

²⁴⁵ Alcide d'Orbigny, premier titulaire de la chaire de paléontologie du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris en 1853, avait eu comme plan de travail, une révision des faunes fossiles de France et même d'Europe occidentale afin de vérifier la validité de cette loi. A la fin de son étude exhaustive - préférentiellement sur les Echinodermes et les Mollusques ainsi que sur les périodes du Jurassique et du Crétacé- il admet certaines progressions mais il refuse l'idée d'une progression générale, linéaire, continue le long d'une « échelle des êtres ». Il conçoit ainsi différentes « périodes d'animalisation » en alternance avec des périodes d'« anéantissement brusque » généralisant la notion importante d'espèces disparues si difficile à être acceptée dans la communauté scientifique.

²⁴⁶ Ce fut Elie de Beaumont ou Henri Milne-Edwards (*CR Acad sciences* 30, 1850, p. 257) qui rédigea le sujet d'attribution du grand prix des sciences physiques de l'Académie des sciences de Paris sous cette forme : « Etudier les lois de la distribution des corps organisés fossiles dans les différents terrains sédimentaires suivant leur ordre de superposition. Discuter la question de leur apparition et de leur disparition successive ou simultanée. Rechercher la nature des rapports qui existent entre l'état actuel du règne organique et ses états antérieurs ».

²⁴⁷ Bronn invalide le catastrophisme généralisé puisqu'il y a « passage d'une partie des espèces d'un terrain à l'autre » sans pouvoir prouver par la paléontologie le transformisme (Bronn, 1856, p. 915). Il valide le développement progressif du monde organique, l'existence de séries continues tout en réfutant le transformisme. Mais sa pensée peut paraître contradictoire car il réfute une transformation des espèces anciennes dans les espèces nouvelles et cependant il parle de « succession et de transformation graduelle de l'organisation des êtres » (ibid. p. 904). Son cadre épistémique fait peut-être obstacle, il évoque « une création continue de nouveaux types à la place de ceux qui sont éteints » (ibid.) et le « passage graduel des créations précédentes dans la création moderne » (ibid., p. 910).

en 1856 répond sur le même registre des lois recherchées, il en définit trois (Bronn, 1856, p. 906). La première qu'il appelle « lois d'application des créations aux conditions d'existence » retient une corrélation entre les conditions extérieures liées aux variations tectoniques et les variations du monde organique ; il y a coexistence des faunes et flores successives dès les premiers vivants sur Terre. Ce résultat est contraire aux premières conceptions de la communauté scientifique qui envisageait la précession des végétaux sur les animaux, tout comme nos élèves de 4^{ème}. Pouvons-nous dire qu'il préfigure le concept actuel de coévolution ? La seconde loi, appelée « loi terripétale », relate un perfectionnement des animaux et végétaux en vue de conquérir le milieu terrestre par précession des vivants pélagiques, littoraux puis terrestres en suivant les graduations d'une échelle systématique. Enfin la troisième loi est celle du « développement progressif ou ascendant » que nous avons déjà analysée dans le chapitre 11. La recherche de loi de la nature apparaît comme un idéal de la science. Mais au sens physique du terme une loi est universelle –elle est reproductible dans ses mécanismes comme dans ses résultats- et atemporelle -elle est explicative et prédictive-. Or la séquence stratigraphique fossilifère globale, énoncée comme une loi du développement progressif en 1838, constitue une « généralisation descriptive » qui comportera toujours des exceptions et des variations infinies. Car « en biologie, la pertinence des généralisations est toujours limitée par le constat qu'elles dépendent toujours étroitement d'un *contexte* » (Gayon, 1993). L'histoire des êtres vivants sur Terre est singulière, contingente, faite d'évènements non reproductibles. Donc nous pouvons rechercher ses mécanismes mais sans pouvoir redonner vie aux ammonites, aux dinosaures, aux mammouths ou aux hommes préhistoriques. Ainsi la recherche d'une loi de progression est en contradiction avec les archives que représentent les fossiles. Elle a pu être fortement influencée par une pensée créationniste lorsque le progrès conçu est finalisé par l'espèce humaine. Encore aujourd'hui la confusion entre science et religion peut tendre vers un dogmatisme réciproque (Rumelhard, 2008)

Dans les écrits scientifiques du XIX^e siècle, une polysémie est employée pour traduire cette loi relatant la succession stratigraphique des faunes fossiles des terrains géologiques les plus anciens, paléozoïques, jusqu'aux terrains les plus récents, modernes : **progression, perfectionnement progressif et progrès**. Le terme « progression » est chargé de différents sens datant du XIII^e siècle s'appliquant aux mathématiques. Il peut exprimer une suite où « chaque terme est déduit du précédent par une loi constante » ou encore une « suite ininterrompue, graduelle » qui peut exprimer un « mouvement dans une direction déterminée » (Robert, 1984, p. 1541). La définition originelle transposée sur les corps organisés vivants fossilisés sous-tend les idées de continuité, gradualisme et déterminisme. XXX Il réfute donc la vision universelle de perfectionnement des faunes plus liée selon lui à l'étude initiale sur des mammifères « cette loi trop généralement admise du perfectionnement progressif des êtres, en marchant des époques anciennes aux plus modernes [...] loin d'être la

règle constante, comme on avait pu le croire en étudiant les mammifères, n'est au contraire qu'une faible exception. » (D'Orbigny, 1856, cité par Fischer & Vénec-Peyré, 2002, p. 363). La notion de progression peut être objective et approchée quantitativement et elle ne doit pas être confondue avec la notion de progrès, terme d'ailleurs que d'Orbigny n'a jamais employé. Le terme de progrès est connoté d'une valeur positive en direction d'un état idéal. Il porte un jugement de valeur qui s'appliquerait uniquement à l'homme (Tintant, 1997, p. 170). Il est chargé de sens différents qui le confond avec évolution biologique prévisible, déterminée, orientée vers l'aboutissement humain. En définitive il sous-tend souvent une conception finaliste. Nombreuses sont les iconographies passées et actuelles qui symbolisent que « La marche du progrès est la représentation archétypale de l'évolution- son image même, immédiatement saisie et instinctivement comprise par tout le monde » (Gould, 1991, p. 30). Par opposition à l'idée de progrès dans l'histoire de la vie et restant sur le même registre pour faire comprendre cette notion de contingence, S.J. Gould utilise des métaphores empreintes aux scores du base-ball ou au chemin d'un ivrogne titubant entre différents murs (Gould, 1997). S. J. Gould remet en cause cette habitude de pensée en envisageant une histoire paléontologique pleine d'humilité car son fil directeur est la notion de contingence « Nous sommes là et nous aurions pu ne pas être là. [...] Les séquences historiques sont parfaitement explicables, mais elles ne sont pas prévisibles. Nous ignorons le futur parce qu'il existe trop de voies possibles, toutes aussi logiques les unes que les autres quel que soit le point de départ [...] » (Gould & Stengers, 1996). La seconde humilité vient du fait que beaucoup d'archives paléontologiques ont disparu à jamais et des problèmes restent insolubles, des hypothèses restent en suspens ne pouvant être soumises à la réfutation. C'est pourquoi la paléontologie laisse encore le champ libre à l'imagination et reste « une fiction de nos origines ».

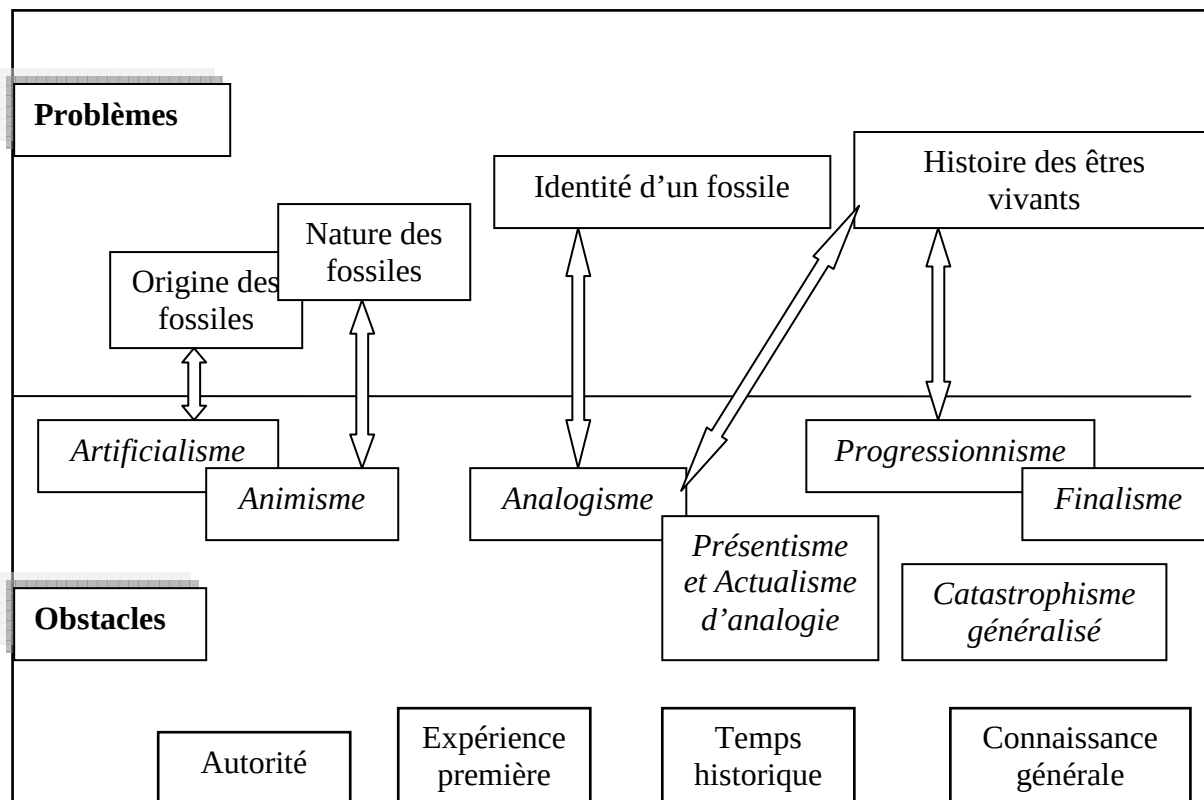
Les obstacles ou les mythes de métamorphose, harmonie et progrès engendrant l'idée de continuité ont été repérés fréquemment à propos du concept d'évolution au niveau épistémologique (Canguilhem, 1985 ; Gould, 1997b) et au niveau didactique (Rumelhard, 1995b ; Crépin-Obert, 2002 ; Lhoste, 2008 ; Peterfalvi, 2008). Ils étaient finalement déjà fort présents en histoire de la paléontologie pour expliquer la progression des êtres vivants sur Terre corrélée à la stratigraphie. Ils sont encore présents dans nos situations didactiques de l'école primaire et de collège à propos des fossiles. La pensée commune en paléontologie est illustrée par les mêmes obstacles rencontrés dans les autres disciplines connexes structurant la théorie de l'évolution -taxonomie, anatomie comparée, embryologie, histologie.

3. La fonction théorique des controverses : problématisation et obstacles épistémologiques

3. 1 Une articulation entre problématisation et obstacle

Une des questions centrales de notre recherche était de **cerner les relations entre problématisation et obstacle**, repérés en histoire de la paléontologie ou travaillés dans les situations d'enseignement à propos du concept de fossile. Le choix de moments particuliers comme les controverses historiques ou les temps forts d'opposition entre élèves dans les situations-débats menées par l'enseignant a favorisé cette interaction entre problématisation et obstacle. Considérons d'emblée que la problématisation devrait prendre en compte l'obstacle si « l'histoire de la connaissance [...] est l'histoire des erreurs et l'histoire des victoires sur l'erreur » (Canguilhem, 1968/2002, p. 364). Les controverses historiques sont des temps forts de désaccord à la recherche du « raisonnable », et celles étudiées ont révélé une tension entre plusieurs cadres épistémiques ou plusieurs modèles explicatifs, dont certains étaient porteurs d'obstacles. Puisque la situation-débat problématisante a pour fonction de construire des raisons et que ces raisons sont distanciées du vrai et du faux, elles peuvent faire émerger des modèles explicatifs révélateurs d'obstacles épistémologiques chez les élèves. Voici un schéma récapitulatif de l'ensemble des problèmes et des obstacles analysés au cours de notre recherche.

Schéma N°34 : Problèmes et obstacles communs, à propos du concept de fossile, rencontrés lors des situations-débats à l'école primaire et au collège et des controverses historiques du XVII^e au XIX^e siècles



Nous avons séparé dans ce schéma deux types d'obstacles, ceux qui sont directement liés à la construction du concept de fossile (*mis en caractère italique*) et ceux plus transversaux qui relèvent d'une posture épistémologique (mis en caractère romain). Nous rejoignons la catégorisation proposée lors d'un travail sur l'argumentation (Fillon & al., 2004, pp. 209-211). Les pensées communes essentielles -artificialiste, animiste, analogiste et finaliste- ont été décelées au cœur des raisonnements construits sur la nature, l'origine et l'identité des fossiles associée à une mise en histoire des vivants sur Terre. Elles peuvent être liées à des obstacles de portée plus générale. Ceux-ci peuvent tromper notre raison par l'expérience première –une approche sensible isolée-, et par la connaissance générale –une généralisation abusive et précipitée-, un temps historique –un temps vécu centré sur une échelle humaine. Enfin l'obstacle en lien avec un argument d'autorité empêche tout questionnement. Il a été rencontré amplement en histoire des sciences, les discussions scientifiques retenues montrent une distance progressive aux théories philosophiques antiques ou aux textes bibliques au cours des siècles. Il a émergé aussi en CM1 et en 4^{ème} par des interactions langagières arrêtant le débat sous prétexte d'un savoir admis puisque donné par les scientifiques. La problématisation ne peut ignorer l'obstacle.

Mais regardons de plus près quelles interactions sont possibles. La question des relations antagonistes ou synergiques entre ces deux regards didactiques a été posée soit sur les finalités de l'enseignement des sciences soit sur la dynamique des apprentissages scientifiques (Orange, 1999, Peterfalvi, 2006). B. Peterfalvi évoque l'obstacle comme moteur ou frein de la problématisation et elle soulève la contradiction a priori entre l'obstacle, « inertie de l'esprit », et la problématisation « marche de la pensée ». Elle note une articulation possible à propos du concept de transformation de la matière dans les classes de 6^{ème} et de seconde. Dans un sens favorable, des hypothèses peuvent intégrer l'obstacle et des nécessités peuvent être formulées a contrario d'un obstacle. Dans un sens défavorable, des raisons peuvent être porteuses de l'obstacle à travailler ou des nécessités sont formulées dans un cadre qui intègre l'obstacle. Ce qui revient à formuler au sein du raisonnement des contraintes erronées. Dans le contexte des controverses nous avons eu souvent affaire à **des nécessités contraires**, puisque générées par des systèmes explicatifs en opposition. Ce fut le cas de La Sauvagère qui envisageait la nécessité d'une végétation pierreuse spontanée des coquilles fossiles que Guettard réfutait par la nécessité d'une pétrification par les eaux chargées de matière pierreuse encroûtantes. Quant à Voltaire la nécessité d'assèchement de petits lacs de montagnes est en opposition avec la nécessité d'une ancienne mer couvrant les terres émergées actuelles. Ou encore le cas de Blainville, qui décelait nécessairement un fossile non marsupial dans les terrains jurassiques, s'opposant à ses adversaires qui interprétaient nécessairement un fossile de marsupial. **Une nécessité porteuse d'un obstacle est en symétrie d'une nécessité dépassant l'obstacle.** Ce qui est construit comme nécessaire dans un système explicatif ne l'est plus dans un autre système. Chaque fois les éléments du registre empirique sont sélectionnés et orientés pour servir un modèle explicatif plutôt qu'un autre. Chez les élèves la démarche heuristique prédomine et le poids des nécessités dans leur raisonnement est plus faible, contrebalancés par des nombreux possibles. En 4^{ème}, ils approchent la nécessité de temps long -mais dans l'idée de permettre une amélioration- en s'opposant à la magie de l'instantané d'une métamorphose. Ils approchent la nécessité d'une vie antérieure aquatique mais sans pouvoir assurer les données paléontologiques qui la construisent. En CM2, les élèves oscillent entre les nécessités contraires d'avoir un ancêtre différent ou ressemblant. Et en CM1, la nécessité de croissance simultanée de la pierre et du fossile s'oppose à la nécessité de croissance spécifique des êtres vivants chez les élèves. Par contre, dans le premier extrait de débat à propos de l'origine naturelle ou artificielle des fossiles, les nécessités mobilisées vont toutes à l'encontre du modèle artificialiste.

Voyons quelles articulations peuvent être décelées entre problématisation et obstacle pour la conceptualisation de fossile au niveau des apprentissages lors des situations-débats ou au niveau de la construction historique lors des controverses. Nous avons distingué deux types d'interaction, l'une défavorable et l'autre favorable à la problématisation. La première interaction s'appuie sur le premier sens de l'obstacle épistémologique donné par Bachelard,

bloquer la pensée rationnelle, donc la construction de raisons. La seconde interaction s'appuie sur un autre sens, donné aussi par Bachelard, la construction de raisons dans un cadre épistémique limité.

3. 2 La problématisation est freinée par les obstacles

Dans un premier temps nous considérons une grande résistance des obstacles. Dans ce cas, **l'obstacle peut bloquer entièrement la discussion ou la problématisation en cours**. Nous avons repéré deux cas où l'interaction est dans ce sens. Premièrement, la problématisation est inhibée car l'expérience première ou la connaissance générale empêche l'entrée en questionnement. La transmission d'idées reçues, non questionnées, peut se perpétuer sur plusieurs siècles comme ce fut le cas de l'artificialisme lié aux fossiles de bélemnites, chez Du Hamel par exemple. Dans ce cas l'obstacle est ignoré par la communauté scientifique qui ne peut ni poser le problème de l'origine des fossiles au sens moderne, ni construire celui de leur nature. La réflexion est détournée vers une autre problématique, la solidité de tous les corps dans la nature. Deuxièmement le cours de la problématisation est arrêté dans le cas d'une opposition trop forte entre deux cadres épistémiques. Ce cas rejoint la notion de rupture métaphysique lorsque les deux « cadres explicatifs sont incommensurables » empêchant un débat qui nécessite à ce niveau une relative homogénéité des conceptions (Fabre & Orange, 1997 ; Orange, 2002). Nous l'avons rencontré chez les élèves de CM1 dans le cas du catastrophisme qui a été ignoré globalement par la classe qui s'est au contraire mobilisée pour démonter les idées artificialistes et construire l'origine d'anciens vivants des fossiles. Est-ce cette distorsion ou cet éloignement entre une conception animiste et une conception d'ancien vivant qui a freiné la problématisation du second temps de débat en CM1 ? Ou ne serait-ce pas aussi la pauvreté du registre empirique mobilisable par les élèves sur ce concept de fossile distant de leur quotidien ? Et nous avons rencontré aussi en histoire des sciences cet arrêt de la problématisation en cours de débat scientifique car soumise à deux cadres épistémiques distants : un cadre épistémique matérialiste²⁴⁸ de Guettard vs un cadre épistémique créationniste et spontanéiste de La Sauvagère au XVIII^e siècle, un cadre épistémique transformiste de Geoffroy Saint-Hilaire vs un cadre créationniste de Blainville au XIX^e siècle. Les protagonistes n'ont pu trouver de consensus, le débat devient stérile, même si au départ un véritable débat scientifique est engagé au XIX^e. Voici comment Geoffroy Saint-Hilaire

²⁴⁸ Ce terme nous pose problème si le matérialisme est le « primat de la matière sur l'esprit » s'oppose au spiritualisme « primat de l'esprit sur la matière », selon F. Hegel (*Phénoménologie de l'esprit*, 1807). Car nous sommes confrontés à la dualité du personnage de Guettard, à la fois extrêmement rigoureux dans le domaine scientifiques et très pieu, fervent croyant dans le domaine religieux. Ne vaudrait-il pas mieux parler de matérialisme méthodologique ou encore de phénoménisme ? L'idée est de traduire le positivisme affirmé de Guettard qui veut ancrer sa pensée sur les éléments empiriques et se refuse d'entrer dans des spéculations hasardeuses théoriques. Il sépare, la plupart du temps, science et religion.

exprimait ce blocage entre ses idées transformistes appuyées par des études embryologiques récentes et les idées anciennes préformistes liées à la Création.

« Cependant, des deux côtés, on évite le combat, non pas peut-être qu'on le redoute maintenant, mais parce qu'on le juge sans résultat probable. Chaque parti suit ses faits, il les multiplie, il conclut avec eux, et, ce qui tient aux progrès de la science sous tous les rapports, il conclut avec eux acquis en plus grand nombre, et avec eux seulement, pour ce qu'ils ont de portée. [...] peut-être, nous aidant de ce qu'il y a de vrai dans chacun des deux systèmes, la conciliation est possible sur le fond des choses. » (Geoffroy Saint-Hilaire, 1828, vol 17, p. 229)

Dans ce cas le problème de succession d'êtres vivants différents selon une progression allant du simple au composé depuis les époques géologiques anciennes jusqu'au plus récentes, reste insoluble. Il y a rupture entre la problématique de modifications lentes d'espèces anciennes ancestrales vers des espèces actuelles et la problématique de créations successives qui envisage, par exemple, qu'« un premier homme a contenu ensemble, non confondus, tous les hommes qui ont paru et qui paroîtront sur la terre » (ibid., p. 225). Les idées scientifiques de filiation par transformation successive des êtres vivants sous l'influence des conditions variables du milieu extérieur s'opposent à un registre religieux « tout porte à penser qu'il y a eu, sauf les exceptions produites par les troubles plus ou moins généraux qui ont détruit par instant l'harmonie existante, passage progressif et continue dans les créations, en vertu de lois premières qui régissent l'univers » (Burat, 1837-1838, Tome 6, p. 624). La recherche de lois scientifiques s'affronte à la croyance de lois immuables obéissant à la « volonté suprême du Créateur qui accomplit sa grande œuvre ». De même sur le problème de la nature et de l'origine des fossiles au XVIII^e siècle, Guettard ne peut se détacher d'une pensée créationniste. Alors qu'il vient de montrer le rapport entre les encrinites et son analogue vivant, le lys de mer, il rappelle les croyances du système contemporain d'Élie Bertrand tout en le réfutant par un contre-argument créationniste avant d'avancer des arguments écologiques

« M. Bertrand veut que dès la création l'Auteur de la Nature se soit plu à créer dans la Terre des corps qui eussent quelque ressemblance avec les animaux & les plantes, & il croit trouver dans cette supposition une preuve nouvelle & plus juste que tout autre, de la liaison que les êtres créés ont entr'eux. [...] non seulement le rapport immédiat que les fossiles ont avec les corps marins, leur figure régulière, les variétés qui se remarquent entr'eux, mais encore les propriétés accidentelles qu'on y observe, sont des preuves incontestables du peu de solidité du système de M. Bertrand. Si l'Auteur de la Nature a rempli l'intérieur de la Terre de coquilles, de coraux, & autres corps de cette nature, analogues à des corps semblables tirés de la mer, il n'a certainement dû les former que dans l'état parfait, & nous ne devrions les trouver qu'ainsi formés » (Guettard, 1755, p. 342)

Les deux registres sont incompatibles, mais dans chaque cas les opinions religieuses se mêlent aux raisons scientifiques.

En résumé nous confortons l'intérêt de la contradiction offerte par l'émergence des obstacles pour le positionnement d'un problème commun. Et l'avancée de la problématisation par la recherche d'arguments plausibles peut aider à déstabiliser l'obstacle. B. Peterfalvi fait appel au passage d'un obstacle « facilité », en cohérence et qui ne questionne pas, à un obstacle « difficulté », conflictuel et qui questionne (2006). Mais si cet obstacle décelé résiste car

l'écart entre les systèmes explicatifs est trop grand, alors la problématisation devient impossible et même le registre empirique n'est plus homogène entre les deux camps d'une controverse scientifique. Ce qui conforte la limite au processus de problématisation repérée initialement par M. Fabre et C. Orange (1997).

3. 3 La problématisation est activée par les obstacles

Inversement, nous considérons que **l'obstacle peut aider à la problématisation dans un contexte de débat**. C'est la nature même de l'esprit scientifique de chercher des explications et de développer un esprit critique selon Popper, de lutter contre l'opinion commune selon Bachelard et de viser une rationalité au-delà des idées reçues selon Canguilhem. Or une attitude critique sollicitée dans l'auditoire, la possibilité offerte de remettre en question des mythes va dans ce sens. Ce qui a été démontré par une innovation de la philosophie grecque en instaurant une tradition nouvelle de discussion des phénomènes et des théories (Popper, 2006, p. 192). Nous avons repéré l'articulation positive entre obstacle et problématisation à deux niveaux : provoquer un questionnement qui aide à positionner le problème et développer une contre-argumentation qui participe à construire le problème.

Chez les élèves, les situations didactiques choisies de discussion engageaient un questionnement à partir de la confrontation des représentations porteuses de l'obstacle artificialiste et animiste en CM1, de l'obstacle analogiste en CM2 et en 4^{ème}. Le questionnement explicité par les élèves, en interaction avec des modes de pensée qui font obstacles, peut avoir pour conséquence leur fissuration. Il peut témoigner d'une prise de conscience de l'obstacle en clarifiant une problématique partagée qui établit l'entrée dans la problématisation. En CM1 la question de l'utilité et de l'habileté nécessaire à la fabrication des fossiles par les hommes préhistoriques est mise en tension avec la question de savoir comment une pierre peut prendre la forme d'un animal ou comment l'animal s'incruste dans la pierre. Même si ces questions sont porteuses d'obstacles elles ont le mérite de les discerner et de mobiliser la classe dans la discussion. Le positionnement du problème peut donc être favorisé par la prise en charge collective de l'obstacle repéré. De plus la résistance à l'obstacle peut inciter à développer une argumentation soutenue. En CM2 la question d'une métamorphose possible entre une ammonite et un escargot actuel terrestre engage les élèves à comparer plus finement les coquilles. En 4^{ème} la question de filiation entre un papillon et un animal aquatique ouvre sur le problème de méthodologie ayant permis au paléontologue d'établir une chronologie relative entre les espèces sur Terre. L'obstacle peut donc favoriser une problématisation orientée vers sa propre déstabilisation « La valeur de la science tient, [...] dans son contenu informatif et sa capacité de libérer nos esprits des vieilles croyances, des préjugés anciens et des vieilles certitudes pour leur substituer des conjectures nouvelles et des hypothèses audacieuses » (Popper, 1979/2006, pp. 157-158).

En histoire des sciences, le problème est généralement avancé clairement d'emblée. Chez La Sauvagère, la question philosophique fermée de la végétation des coquilles fossiles est porteuse de l'obstacle animiste explicite. Alors que chez Voltaire le doute sur l'origine des coquilles fossiles ouvre sur une hypothèse porteuse de l'obstacle artificialiste, envisagée parmi d'autres hypothèses. Celles-ci entrent donc en concurrence et Voltaire retravaillera chacun de ses raisonnements en recherchant des arguments empiriques soutenant ses différents modèles explicatifs. Sa préférence pour la nécessité d'une origine lacustre des coquilles fossiles est fondée sur un ensemble de raisons reconnues en partie actuellement. Cette problématisation s'est bien structurée à l'encontre d'une conception artificialiste. Quant à Blainville la question de classification des Didelphes fossiles de Stonesfield apparaît ouverte. Mais elle masque un obstacle créationniste et une progression prédéfinie des êtres vivants sous-jacente à l'ouverture de la discussion. Ce qui n'a pas empêché de nombreux arguments empiriques d'être confrontés, comparant la faune actuelle et ancienne. Et toute la communauté scientifique s'est vue obligée de questionner les relations entre la classification et la loi de progression des êtres vivants au cours du temps, progression pouvant être comprise comme une filiation par l'un des deux camps.

3. 4 Polymorphie des obstacles, un recours nécessaire à l'histoire des sciences

Bachelard généralise à tous les obstacles épistémologiques le caractère de polymorphie à propos de l'obstacle substantialiste « fait de l'assemblage des intuitions les plus dispersées et même les plus opposées » (1938/2004, p. 117). Transposé à la paléontologie, cela signifierait que la pensée préscientifique bloque sur un objet fossile ses diverses qualités. Par exemple, le fait de le trouver en terre bloque la pensée sur une nature minérale, sa forme analogue à une roue bloque la pensée sur une origine artificielle, sa forme analogue à la coquille Saint-Jacques transporté par les pèlerins bloque la pensée sur un transport par l'homme, sa taille gigantesque bloque la pensée sur l'origine d'un géant ou d'un éléphant actuel fossilisés. Tous ces rapprochements isolés sont discutables.

Au vu de cette étude, l'idée de polymorphie d'un obstacle nous apparaît importante au sens littéral du terme, un obstacle peut prendre différentes formes. Par l'analyse approfondie des problématisations d'élèves et de savants nous venons de démontrer que **la convergence d'un obstacle repéré, posé en méthodologie, n'était qu'apparente** puisque les nécessités mobilisées, par les deux communautés discursives, sont différentes. Fréquence et récurrence d'un modèle explicatif erroné ne signifie pas identité de l'obstacle, ni même convergence mais juste proximité. La polymorphie d'un obstacle renforce la caractéristique de pensée commune, décelable chez les élèves comme chez les naturalistes anciens. Nous pourrions parler aussi d'hétérogénéité de l'obstacle.

Rappelons le premier cas d'étude sur **le problème de l'origine des fossiles associé à l'obstacle artificialiste**. La controverse majeure sur la formation des coquilles fossiles contemporaines ou non à l'Homme, est commune aux débats historique et scolaire. Dans le cas des élèves de CM 1, c'est la conception **artificialiste au sens strict**- l'objet fossile étant perçu comme un objet possible taillé par les hommes préhistoriques- qui est la plus vivement débattue et collectivement dépassée. Dans le cas de Guettard et Voltaire, c'est une conception **anthropocentriste** liée aux déplacements et repas humains. La référence à l'actuel –autrement dit à un temps proche historique et non pas géologique- est sollicitée comme mode de pensée convergent. Mais l'espace-problème est différent. Dans le cadre historique, la problématique de la nature des fossiles ouvre sur la formation des montagnes et les régressions marines, voire sur une création dans la terre in situ. Dans le cadre scolaire aucun élève n'a explicité ces corrélations. Leurs préoccupations secondaires portent sur la couleur d'un fossile, la taille relative d'un fossile morcelé à la taille de l'animal mort, l'ancienneté des fossiles, la cause de disparition des dinosaures et enfin la mise en forme d'un fossile dans une pierre dure. Fréquemment les argumentations enfantines montrent l'ambiguïté de la référence à l'actuel : «le fossile vieillit puis meurt » ; «un crocodile, c'est un fossile qui vit encore» ; «les animaux - anciens- se sont incrustés dans la pierre –dure, observée aujourd'hui». L'expression d'un obstacle artificialiste est beaucoup plus nettement définie chez les élèves que chez les savants du XVII^e ou du XVIII^e comme nous l'avons abordé. La méthodologie comparative a accentué le rapprochement voulu. Et le terme d'artificialisme nous semblait plus adéquat que le terme d'anthropocentrisme. Ce dernier, beaucoup trop général, peut intégrer aussi le finalisme et le progressionisme par exemple. Alors que nous voulions les réunir juste sous l'angle d'une intervention humaine.

En paléontologie **l'obstacle animiste exprime beaucoup mieux une grande diversité de forme** dans le contexte historique comparé au cadre scolaire. Ses différentes facettes peuvent être considérées comme caractéristique d'un obstacle polymorphe. Beaucoup plus solidement ancrée chez les naturalistes anciens que chez les élèves, la végétation spontanée des fossiles fut conçue tout au long de plusieurs siècles soit pour harmoniser les trois règnes, soit pour résoudre les problèmes insolubles de l'époque, des fossiles sans analogues vivants actuels ou la genèse du monde. Or ce recours aux germes et à la panspermie dévoile **un fondement créationniste aussi polymorphe**. Et de tous temps l'obstacle créationniste a été un frein à la problématisation empêchant le questionnement en apportant des solutions indiscutables. Nous nous rendons compte que la plupart des obstacles identifiés dans le schéma N°34 ci-dessus peuvent appartenir à un fondement religieux ou métaphysique plus ou moins conscientisé ou affirmé. Selon une pensée artificialiste, l'homme remplace le Créateur immatériel. Selon une pensée animiste, le Créateur a semé et donne vie à toutes les productions terrestres. Selon une pensée progressionniste, le Créateur a un plan préétabli d'une succession des êtres organisés. Selon une pensée catastrophiste, le déluge universel est la cause essentielle des disparitions.

Et selon une pensée finaliste, l'histoire des vivants sur Terre est un projet déterminé, une œuvre finalisée d'un Créateur par l'homme. L'obstacle créationniste est lui aussi polymorphe. Or le récit des écritures religieuses ne peut être confondu avec une histoire scientifique de la vie sur Terre tentant d'expliquer ses modalités et ses causes réelles. Perfection, harmonie et continuité sont caractéristiques d'une pensée créationniste. A propos des objets paléontologiques ces principes interviennent à trois niveaux : le fossile avec sa double nature de minéral et d'animal faciliterait l'idée de continu ; les fossiles d'animaux disparus, monstrueux et d'une infinie variété, constitueraient avec les êtres vivants actuels les anneaux d'une chaîne des êtres créés ininterrompue tendant à la perfection ; les nombreux fossiles ayant la forme d'une partie du corps humain attesteraient des essais et de l'aboutissement de cette chaîne continue, l'homme (Foucault, 1966/2005, pp. 163-170). D'ailleurs actuellement **le courant néocréationniste** reprend ces principes. La perfection de l'anatomie ou de la physiologie des vivants dont la machinerie humaine ne peut s'expliquer autrement que par une création et non une sélection naturelle due au hasard ; la continuité est martelée en retenant sélectivement diverses formes fossiles panchroniques qui ont traversé les temps géologiques tout en conservant des caractères ancestraux. Les arguments empiriques paléontologiques²⁴⁹ sont détournés par une sélection orientée des vivants fossiles et actuels pour conforter la théorie créationniste. (Yahya, 2007) ! Même la validité scientifique est falsifiée dans cet ouvrage de propagande. Celui-ci ne se situe pas du tout sur un registre scientifique contrairement au cas historiques. Chaque fois la confusion est entretenue entre les produits de l'évolution, la diversité des fossiles échelonnée au cours des temps géologiques, et les processus de cette variabilité. Ces partisans néocréationnistes jouent en définitive sur le paradoxe historique de l'argument empirique des fossiles : la paléontologie est née globalement dans un courant fixiste sous l'autorité de Cuvier et de l'idée de catastrophes successives pour expliquer la succession des faunes et des flores dans l'échelle stratigraphique ; mais par ailleurs la paléontologie a servi de fondement aux théories transformistes défendues par Geoffroy Saint-Hilaire en croisant des données paléontologiques, anatomiques et embryologiques au XIX^e siècle. Et ce ne fut pas sans rencontrer de nombreux obstacles récurrents encore aujourd'hui. Remarquons que dans notre enquête didactique chez les élèves de cette étude **le registre religieux des élèves** —issus des milieux ruraux et urbains de Besançon- n'a jamais été mobilisé dans les débats collectifs étudiés. Ce résultat est différent de celui obtenu sur un corpus tunisien, le contexte socio-culturel de ce pays développant un concordisme entre religion et science (Aroua, 2006). Par

²⁴⁹ Nous avons repéré trois dérives : les paires effectuées —encrines fossiles et lys de mer par exemple- peuvent donner lieu à des erreurs grossières, telles la confusion entre des crinoïdes et des annélides actuelles (Yahya, 2007, p. 415) ; la place des formes intermédiaires est négligée ; et l'explosion de vie précambrienne attestée par quelques gisements fossilifères exceptionnels -faune de Burgess, faune d'Ediacara- est survalorisée car c'est une porte ouverte aux créationnistes, les scientifiques ne pouvant se prononcer pour l'expliquer, l'archivage fossile marquant un hiatus dans les terrains géologiques trop anciens.

opposition, un registre créationniste est prégnant dans toutes les controverses historiques. Nombreux sont les savants qui l'explicitaient et qui peu à peu ont dû se distancier des dogmes religieux. Il ne semble pas y avoir d'enjeu religieux dans le questionnement des élèves et leur argumentation. De plus le débat mené en 4^{ème} de collège révèle une discussion collective opérée dans un cadre transformiste dominant et il est appuyé par des exemples pris à l'échelle individuelle, un papillon, un poisson, un dinosaure, un homme préhistorique, etc.

Le créationnisme et le fixisme sont aussi deux modes de pensée corrélés en lien avec la conception d'un monde créé éternel. Une autre difficulté conceptuelle réside dans les interférences possibles entre le monde minéral et les mondes organiques. Ce qui a pour conséquence, dans notre analyse, de devoir croiser les modes de pensée expliquant les vivants sur Terre et leur environnement minéral selon deux grandes visions opposées du monde naturel, continue ou discontinue. Diverses conceptions mêlent les relations entre le monde géologique et le monde biologique, entre un monde physique stable ou l'actualisme vs un mode physique bouleversé ou le catastrophisme ; un monde biologique stable ou l'uniformitarisme vs un monde biologique modifié ou le transformisme (Hooykaas, 1970 ; Gaudant, 1982 ; Gould, 1990 ; Gohau, 1990b & 2003). Un point nous a marqué dans cette étude, les élèves mobilisent facilement les déplacements des mers, acceptés comme contrainte théorique non questionnée. Alors que ce fut une véritable révolution scientifique qui nécessita un changement de paradigme lent sur plusieurs siècles. Dans nos études de cas historiques le déplacement des mers n'est pas du tout évoqué (Du Hamel), ou il est évoqué pour être réfuté (La Sauvagère, Voltaire), ou encore il est évoqué et accepté pour modifier légèrement les littoraux en pays plats (Palissy, Réaumur), ou enfin il est accepté comme un nouveau problème à résoudre (Guettard). Globalement la formation des montagnes à l'intérieur des terres par d'anciennes mers, paraissait inconcevable. Nous avons vu comment le déplacement de la problématique au XVIII^e siècle ne sera déclenché qu'après l'acceptation d'une origine naturelle et marine généralisée des coquilles fossiles et que cette nécessité a été très longue à construire. Créationnisme et fixisme n'appartiennent pas à un mode de pensée commun chez les élèves qui se sont exprimés dans nos situations-débats plutôt sur un mode de pensée transformiste et mobiliste. Nous ne pouvons effectivement pas envisager de « récapitacionisme » entre les obstacles émergents chez les élèves et ceux vécus par les savants, l'environnement technique étant fort différent (Gohau, 1995b). Vivre la science ou apprendre en sciences, ce n'est pas la même chose : les scientifiques ont fondé les concepts scientifiques en questionnant autrement d'anciens problèmes et en produisant de nouvelles explications sur le monde naturel alors que les élèves redécouvrent personnellement questions et explications dans un tout autre contexte (Greiffenhagen & Sherman, 2008).

3. 5. Le raisonnement par analogie, principe de raison et obstacle

Problématisation et obstacle sont aussi en tension dans le cas d'une science historique comme la paléontologie qui doit prendre référence sur la faune actuelle et sur sa biologie. Cette contrainte conduit à **un raisonnement par analogie en paléontologie qui peut être paradoxal**, puisqu'il sert de principe de raison mais peut constituer aussi un obstacle à la raison.

Dans le second cas d'étude, le **problème de la nature des fossiles associé à l'obstacle animiste**, l'analogie avec la croissance actuelle des végétaux en terre est commune aux élèves et à La Sauvagère. Cette explication facilitée peut empêcher l'adhésion à d'autres raisons. Nous pouvons douter que le registre empirique important de Guettard n'ait pu faire changer d'avis son adversaire de son vivant tant la solidité de ses convictions créationnistes dirige l'interprétation des faits accompagnée par son refus de la nécessité des mouvements des mers. Alors que le consensus s'est installé dans la classe, malgré un registre argumentatif restreint, pour retenir la nécessité d'une synergie entre vie et croissance et de la précession de la vie avant la fossilisation.

Dans le troisième cas d'étude, le **problème de l'identification d'un fossile et son appartenance à une histoire des vivants associé à l'obstacle analogiste**, le degré de rapprochement d'une espèce fossile avec une espèce actuelle est débattu. La distance écologique est abordée essentiellement par les élèves de CM2 à propos d'une ammonite marine et d'un escargot terrestre, par les élèves de 4^{ème} entre un papillon terrestre et un ancêtre supposé aquatique en prenant appui sur des cycles de vie à développement indirect. La distance anatomique est questionnée entre une ammonite disparue et un escargot actuel en CM2, entre un petit animal simple ancien et un papillon d'aujourd'hui en 4^{ème}, entre un vertébré fossile du Jurassique avec un marsupial actuel au XIX^e siècle. La hiérarchie des critères et l'importance relative des ressemblances par rapport aux différences sont deux raisons fondamentales. Historiquement c'est à Bruguière, invertébriste, collègue et ami de Lamarck, que nous devons le concept d'espèces analogues (Laurent, 2002b). En tant que géologue uniformitarien –un des premiers-, il défend la fixité des espèces fondée sur les analogies entre les productions marines actuelles et certains fossiles pétrifiés des couches pélagiennes (entroques, astérites). En parallèle il doute du fait des espèces perdues telles les Ammonites, dont il créa le nom. Comme Guettard avant lui, leurs analogues vivants sont inconnus et il envisage leur découverte ultérieure dans les mers abyssales car les ammonites appartiennent aux bancs pélagiens et non littoraux

« rien ne prouvait que les cornes d'Ammon vivantes, les grands Nautilus, les Animaux des **Baculites**, des Bélemnites et des Othocères, ne vécussent pas dans le fond des mers. [...] et jusqu'à ce qu'on ait répondu par des faits contraires et positifs, on est en droit de douter que le fond des mers soit encore habité par les mêmes Céphalopodes » (Bruguière cité par Laurent. (1822). article « Ammonées. *Dictionnaire classique d'Histoire naturelle*, t.1, pp. 268-269)

Lamarck développera ce concept fondamental d'espèce analogue dans sa théorie transformiste après 1800 (Laurent, 1997c). En 1801 dans le *Système des animaux sans vertèbres*, Lamarck construit sa démonstration transformiste grâce au concept d'espèces analogues appuyé sur les coquilles fossiles. Il accepte une variabilité possible d'une espèce au cours du temps qui lui permet de relier les espèces fossiles et les espèces vivantes actuelles dans une même histoire. Lamarck précisera sa méthode comparative par des « rapports » observables entre les êtres vivants

« On a nommé *rapports* les traits de ressemblance ou d'analogie que la nature a donnés, soit à différentes de ses productions comparées entr'elles, soit à diverses parties comparées de ces mêmes productions. [...] Il faut donc distinguer soigneusement les *rapports* reconnus qui appartiennent aux opérations directes de la nature, dans la composition progressive de l'organisation animale, de ceux pareillement reconnus, qui sont le résultat de l'influence des circonstances d'habitation, ainsi que de celles des habitudes que les différentes races ont été forcées de contracter. » (Lamarck, 1815, pp. 348-349).

Cette méthode lui permet de mesurer le degré de ressemblance/ différence entre toutes les espèces d'invertébrés et de Vertébrés. Des principes de valeurs liés au progrès fondent la méthode, infériorité/ supériorité, imperfection/ perfectionnement, simple/ composé, antérieur/ ultérieur car « la nature ne rétrograde point elle-même dans ses opérations [...] d'après la progression qui existe dans la composition de l'organisation animale (ibid., p. 363 et p. 370). Ils permettent d'apprécier le rang des espèces par une hiérarchisation des organes et des fonctions du vivant sur l'échelle des êtres, l'anatomie humaine servant de point de comparaison et de perfection. Le concept d'analogie, à cette époque, est un concept pour rapprocher les espèces par filiation. Aujourd'hui c'est le terme d'homologie qui l'a remplacé sur l'initiative de R. Owen (Laurent, 1997c). En 1838 Geoffroy Saint-Hilaire développe ce concept d'espèces analogues, au sens lamarckien, pour défendre un même plan d'organisation des vertébrés, en insistant sur les connexions et le nombre des pièces osseuses plus que sur leur forme et leur taille. En 1844 Prévost présente comme « un des résultats les plus curieux » de la paléontologie la différenciation dans les strates entre des espèces identiques et des espèces analogues aux espèces actuelles

« Ce n'est que dans les dépôts les plus superficiels du sol, dans ceux qui ont été le plus récemment formés, que l'on trouve des *Fossiles identiques* avec les espèces actuelles ; et par *identité* on entend des ressemblances comme celles qui se voient entre les individus d'une même espèce. Plus au-dessous on ne trouve plus que des *Fossiles analogues*, c'est-à-dire d'espèces distinctes, mais pouvant entrer dans les genres actuels ; puis, en scrutant les dépôts graduellement plus anciens, le naturaliste trouve les vestiges de végétaux et d'animaux inconnus dont il peut composer des genres, des familles, des ordres nouveaux » (Prévost, 1844, Tome 5, pp. 684-685)

Tout le litige porte sur le poids accordé aux caractères de ressemblance par rapport aux caractères de différence ou inversement et leur hiérarchisation. Soit les espèces comparées sont suffisamment semblables pour les rapprocher et en voir une parenté. Soit elles sont estimées suffisamment différentes pour les séparer et refuser une filiation. Quelle variabilité est acceptable, d'autant plus en paléontologie ?

En définitive ce critère d'analogie nous permet de rebondir sur une problématique majeure de la paléontologie, la **définition de l'espèce paléontologique**, encore plus sujette à discussion que le concept d'espèce biologique. Cuvier avait ressenti le besoin d'en donner une définition pour stabiliser les espèces, en fixer les bornes de variation « les individus qui descendent les uns des autres ou de parents communs, et ceux qui leur ressemblent autant qu'ils se ressemblent entre eux » (Cuvier, 1834/1999, p. 80). Le critère premier mis en avant, par Cuvier et par les biologistes aujourd'hui, n'est pas abordé par les élèves, l'interfécondité dans une population naturelle d'individus présentant un degré de variabilité. De toute façon il est inopérant dans le cas des êtres organisés fossiles et le paléontologue est contraint de raisonner sur une variabilité phénotypique fragmentaire qui n'est pas superposable à des frontières spécifiques liées à la procréation. Par exemple le dimorphisme sexuel, fréquent dans le taxon des Ammonitidés et déduit par biométrie, a réduit de moitié le nombre d'espèces initialement inventoriées des ammonites (Schaff, 2006, p. 668). L'espèce paléontologique n'est qu'une entité morphologique et temporelle par sa durée d'existence –apparition et disparition sur l'échelle des temps géologiques. Au XIX^e siècle, l'importance de Cuvier est d'avoir établi une systématique rigoureuse par les règles de subordination des caractères et de corrélation des organes qui coexistent en rapport avec une fonction du vivant (Foucault, 1966/2005, pp. 275-292). Geoffroy Saint-Hilaire, avec sa théorie des organes analogues, poursuivra cette rupture entre l'anatomie comparée et la taxonomie classique antérieure fondée sur des variables uniquement descriptives. La forme et la grandeur sont minimisées en faveur du nombre et de la disposition des organes, ce qu'il appelle le principe des connexions. Même leur fonction actuelle, pour lui, ne doit pas nous tromper sur les filiations possibles, d'où sa démonstration entre des pièces mobiles de l'opercule chez la Carpe, analogues aux osselets de l'oreille interne (Geoffroy, 1824). Cette recherche d'identité et d'un plan abstrait unique des êtres vivants l'opposa vivement à Cuvier.

Notons que **le courant néocréationniste exploite cet obstacle analogiste** et les difficultés liées au concept d'espèce paléontologique. Depuis deux décennies la démarche de preuve des néocréationnistes américains et européens est basée en grande partie sur l'analogie ciblée entre des phénotypes fossiles et actuels. Prélevant dans tous les groupes animaux et végétaux, elle met en parallèle de nombreux poissons, insectes, mollusques ou végétaux sans les rattacher généralement à une espèce et elle privilégie quelques formes panchroniques reconnues scientifiquement –nautille, crinoïde-. Mais ces formes panchroniques qui ont traversé les temps géologiques en conservant des caractères ancestraux n'ont aucune réalité d'isolement phylogénétique (Ricqlès, 1998). Le nautille partage des innovations évolutives - enroulement plan de la coquille, cloisons et siphon- avec les Ammonoïdes, il partage donc aussi un ancêtre et par conséquent il a une histoire commune avec les ammonites. N'ayant pas d'ancêtre commun exclusif, et donc n'ayant pas d'histoire évolutive spécifique les Nautiloïdes ne peuvent être considérés comme un groupe séparé. Cependant les détracteurs de la théorie

de l'évolution utilisent amplement l'existence de ces formes proches fossiles et actuelles comme preuve de réfutation. Dévoilant une pensée fixiste ils martèlent cette corrélation abusive à toutes les pages

« les nautiles actuels ont exactement les mêmes caractéristiques que ceux qui vécurent voilà des millions d'années. Les archives fossiles prouvent qu'ils n'ont pas changé à travers les âges et qu'ils n'ont pas jamais subi d'évolution » ou encore « Le fait qu'un nautilé qui a vécu entre 113 à 97 millions d'années et un nautilé actuel soient identiques montre encore une fois que la théorie de l'évolution est une énorme supercherie » (Yahya, 2007, p.408 et 500).

Seul le genre fossile *Cenoceras* est pris en compte parmi la diversité des nautiloïdes fossiles pour l'apparemment avec le genre actuel *Nautilus*. C'est donc d'une façon simpliste restreindre le génotype au phénotype, et restreindre la diversité en sélectionnant un seul représentant du groupe fossile.

Il est intéressant de soulever ce paradoxe de raisonnement qui met en tension les conceptions argumentées des élèves comme l'ont fait les naturalistes. Le paléontologue s'appuie sur la biodiversité actuelle pour redonner vie aux faunes passées. Mais il doit prudemment s'en affranchir afin de laisser libre cours à un imaginaire contrôlé pour concevoir l'histoire des vivants. Le didacticien doit être vigilant à propos de cet obstacle, l'analogie servant de preuve non questionnée en rapprochant des éléments appartenant à des paradigmes différents comme ce fut le cas en lycée (Lhoste, 2008, p. 400 et p. 413). Ainsi une des plus belles ruptures épistémologiques en paléontologie a été mise en valeur par Gould (1991). La ré-interprétation de la faune cambrienne des schistes de Burgess ouvre des horizons sur des groupes zoologiques inconnus et les noms tels *Anomalocaris* ou *Hallucigenia* sont évocateurs de cette dualité de la pensée scientifique. Cette tension entre science et imaginaire aura été de tout temps une richesse pour construire la connaissance. Et l'actuel empirique est une référence majeure incontournable. Sans cesse les savants ont dû resituer la paléontologie par rapport à la biologie : les êtres fossiles et vivants analogues apparentés ou non ; les séries paléontologiques et le développement embryologique ; les ancêtres fossiles et le prototype d'un ancêtre commun probable abstrait dans les arbres phylogénétiques ; et actuellement les données paléontologiques corrélées avec le potentiel des mécanismes génétiques de mutation et de régulation par Evo-Dévo, nouvelle synthèse de la paléontologie avec la biologie du développement (Chaline, 2006). L'auteur réhabilite d'ailleurs les travaux de Geoffroy Saint-Hilaire, tout d'abord comme fondateur du lien entre les deux disciplines (ibid., p. 323) et ensuite pour sa conception unitaire du plan d'organisation animale unissant même les vertébrés et les invertébrés (ibid., p. 332), hypothèse présentée à l'Académie des sciences en 1822 et dénigrée par Cuvier. Dans tous les cas les archives paléontologiques constituent bien les repères chronologiques incontournables qui canalisent les hypothèses biologiques.

4. L'évolution des discussions en histoire des sciences et leurs intérêts didactiques pour les situations débats en milieu scolaire

En histoire des sciences G. Gohau et S. Tirard avaient posé le problème de l'existence de véritables débats scientifiques en sciences physiques ou en sciences de la vie et de la Terre (1998). En didactique Y. Chevallard avait posé le problème de la transposition didactique et de la redécouverte des savoirs construits par les élèves (1985). Nous aimerions répondre en partie à ces deux questions à travers la diversité des échanges discursifs étudiés dans notre recherche. Deux points importants sont retenus, l'évolution des discussions en paléontologie et les conséquences sur l'importance des situations-débats en classe pour les apprentissages scientifiques.

4. 1 Des dialogues construits sur le modèle philosophique antique au « débat paléontologique » du XIX^e siècle

Notre étude verticale, notre **parcours historique à travers des discussions de différentes communautés scientifiques** nous permet de repérer une évolution de discussions majeures du milieu du XVII^e siècle au milieu du XIX^e siècle. **Le dialogue fictif et isolé de Du Hamel** en 1660 fait intervenir des personnages imaginaires mais symboliques de postures scientifiques. C'est une stratégie livresque dont l'objectif est de convaincre le lecteur, de relativiser les références bibliques et de prendre conscience de la spécificité d'un registre scientifique où questionnement et collecte d'observations de terrains sont primordiales. Selon l'auteur, le choix du dialogue semblerait plus profitable au lecteur dans le contexte moderne cartésien de l'époque. Nombreux ont été les naturalistes de grande renommée dans la communauté scientifique de leur époque à faire le choix d'un dialogue (Palissy, 1580 ; Galilée, 1632 ; Du Hamel, 1660 ; Boyle 1661 ; Fontenelle, 1687). Qu'apporte le dialogue par rapport à un exposé didactique de la science minéralogique moderne ? Il a comme intérêt d'extirper l'erreur de la part de l'interlocuteur peu décidé. C'est une stratégie pour le convaincre d'aller contre ses idées anciennes. D'un point de vue épistémologique le dialogue permet de faire émerger les idées erronées, de mettre à jour la résistance des erreurs, pour mieux lutter contre et vaincre l'obstacle ! En parallèle il sert aussi à amener des objections pour construire une réfutation décisive. Les arguments se répondent entre l'aristotélicien –Théophile- et les modernistes –le cartésien Ménandre ou le chimiste Simplicius jouant alternativement le rôle de médiateur-. Mais ce dialogue du XVII^e siècle accuse une vision rétrograde par contraste aux textes de Palissy ou de Léonard de Vinci puisque la nature des fossiles est maintenue exclusivement minérale dans une problématique générale de solidité des pierres. Les notions abordées

centrées sur la minéralogie restent encore trop éloignées de notre réflexion sur la paléontologie. Et nous ne pouvons assurer avec certitude la compréhension actuelle de cette pensée d'une autre époque par les conceptions ardues de semences minérales et de processus lapidifiants - germe, suc, force ou esprit-. Il serait cependant intéressant d'approfondir la nature du dialogue. Repérer ses divisions thématiques en rapport avec l'argumentation des personnages. Analyser plus finement quels extraits comportent des arguments significatifs et peuvent faire basculer la décision du lecteur ou alors vérifier si certains longs monologues, caractéristiques des dialogues galiléens, ne sont qu'une diversion sans intérêt majeur pour la problématique abordée. Regarder le rôle de chacun des personnages dans la stratégie de la contradiction et du questionnement amenant à la construction de raisons. Retrouver dans l'art rhétorique un usage expérimenté de la dialectique. Nous pourrions nous appuyer sur les cinq stratégies dirigées par la confrontation repérées par Meirieu (1987/1993, p. 115). C'est une autre perspective de recherche.

Au XVIII^e siècle les réponses de Guettard à Voltaire et à La Sauvagère sont très éloignées des écrits de ses opposants. Il n'y pas réellement eu discussion entre les protagonistes. Le premier opposant à Guettard a droit à une réponse personnelle –manuscrit non daté- menée sur le ton de l'ironie qui méthodiquement reprend point par point les questions ou les objections de Voltaire dans les *Singularités de la nature* datant de 1768. Puis officiellement et de façon posthume, Guettard reprochera à Voltaire son manque de sérieux pour les démonstrations antérieures de Réaumur qui n'ont qu'« excité ses plaisanteries ». Et il traitera de « causes ridicules » les hypothèses de Voltaire pour expliquer les amas de coquilles à l'intérieur des terres (Guettard, 1783a, p. 5 et p. 8). Quant au second opposant, La Sauvagère, persistant dans sa théorie erronée par deux écrits successifs de 1763 et 1776, il finit par déclencher une réponse officielle et caustique de Guettard dans ce même écrit tardif publié par l'Académie des sciences de Paris dénigrant « une naissance spontanée encore plus ridicule ». Guettard arrête seul toute velléité de discussion de la part de Voltaire comme de La Sauvagère. La communauté scientifique ne se sent pas engagée par leur ouverture de discussion. Le statut et la posture des protagonistes sont très différents. Voltaire et La Sauvagère ne sont pas reconnus par les institutions scientifiques. Voltaire, reconnu comme écrivain polémiste, veut maintenir le doute dans l'esprit du public. Tandis que Guettard est académicien et naturaliste renommé auprès du Duc d'Orléans. Dans un premier temps dans l'écrit personnel, il semble répondre plus par obligation en considérant la notoriété de Voltaire et en s'en moquant pour mettre fin à cette discussion qu'il juge infantine. Dans un second temps dans l'écrit institutionnel, il rappelle en introduction les autres systèmes erronés qui ont eu cours à propos des coraux et autres corps fossiles marins. Il les met en avant pour mieux les réfuter et asseoir sa démonstration d'une origine naturelle et marine des fossiles. Les participants de cette discussion n'ont pas le même poids vis-à-vis du savoir scientifique, deux ignorants, Voltaire et La Sauvagère, et un savant, Guettard, qui se réfère aux raisons de

l'illustre Réaumur en les confortant par des données empiriques importantes. Il ne peut y avoir de véritables échanges discursifs sans estime réciproque. De plus les cadres épistémiques convoqués sont trop éloignés pour engendrer un véritable débat. La discussion est arrêtée par Guettard qui sait. Et ses protagonistes refuseront, eux aussi finalement, d'envisager une véritable discussion. Ils resteront sur leurs premières convictions d'après les derniers échanges épistolaires entre Voltaire et La Sauvagère (Voltaire, 1704-1778/1977-1993).

Par contre dans la dernière discussion retenue au XIX^e siècle nous avons deux scientifiques de même envergure, Blainville et Geoffroy Saint-Hilaire. Nous retrouvons **à travers les échanges de 1838 les huit critères définissant une controverse** par Dominique Raynaud (2003, pp. 8-20) au sein d'une communauté scientifique : *un objet*, les fossiles énigmatiques des terrains jurassiques de Stonesfield ; *une polarité*, deux camps -transformiste et créationniste- représentés respectivement par Geoffroy Saint-Hilaire et Blainville ; *une extension*, premièrement du point de vue disciplinaire, l'investigation croise plusieurs disciplines telles la classification zoologique, la stratigraphie, la paléontologie et l'embryologie et deuxièmement du point de vue de la communauté scientifique, la controverse française mobilise les communautés anglaise, allemande, suisse et américaine où d'autres gisements du même type ont pu être découverts ; *une intensité*, marquée par le développement des argumentations dans une véritable joute oratoire dans un enchaînement rapide de réponses institutionnelles ; *une durée*, courte de quelques mois d'août à décembre 1838 ; *des types de forum*, plusieurs séances à l'Académie des sciences de Paris constituent le lieu institutionnel privilégié et une séance à la société géologique de Londres ; *une reconnaissance*, effective par les nombreux membres éminents des différentes institutions scientifiques qui se sont mobilisés - pour l'Académie des sciences de Paris, Etienne Geoffroy Saint-Hilaire, Duméril et Blainville, pour la Société royale de Londres, Buckland, Lyell et Owen- ainsi que les comptes rendus officiels détaillés des séances ; *un règlement*, seul ce point peut être modulé. Il fut admis très rapidement par la communauté scientifique anglaise que les fossiles problématiques de Stonesfield appartenaient au groupe des mammifères dès la fin de l'année 1838. Par contre il a été différé largement pour la communauté scientifique française dont une partie émet encore des doutes au milieu du XIX^e siècle. Les points discutés empiriques font émerger un modèle explicatif, la loi de succession des faunes fossiles, qui est intégré différemment selon un cadre transformiste ou créationniste. Cette divergence bloque le débat comme le regrettait déjà Geoffroy Saint-Hilaire en 1828

« Quelques idées entrevues comme nécessaires, le retour des mêmes faits d'organisation, mais surtout la rigueur de plusieurs raisonnements, avaient formé la conviction des partisans du système de l'évolution. C'est de quoi paroissent aujourd'hui fort peu s'inquiéter les partisans du système contraire : affectant une parfaite indifférence pour ce qui est raisonnement et explication, ils soutiennent qu'ayant multiplié les faits d'observation et puisé aux véritables sources, soit dans toutes les classes d'animaux, soit dans les organes d'âges différens, la science de l'organisation en est venue au point d'être en droit de prononcer souverainement. Cependant, des deux côtés, on évite le combat, non pas peut-être qu'on le redoute maintenant, mais parce qu'on le juge sans résultat probable » (Geoffroy, 1828, pp. 228-229)

Cette controverse de 1838 semble être l'apogée d'un **débat de nature scientifique, paléontologique et zoologique**. Car d'une part, les protagonistes contemporains sont deux spécialistes renommés. Appartenant à la même institution, ils ont pu échanger leurs arguments devant leurs pairs. Et d'autre part, aucun d'eux n'a la solution au problème posé par le positionnement stratigraphique des fossiles de mammifères. La recherche d'une solution est bien réelle.

En minéralogie et en paléontologie nous sommes donc passés de dialogues fictifs du XVII^e à un échange entre un savant et deux adversaires sans reconnaissance institutionnelle au siècle des Lumières, puis à une véritable controverse paléontologique au début du XIX^e. Des interlocuteurs fictifs et des discussions virtuelles sont remplacés par de véritables échanges au sein d'une communauté qui peut s'inspirer d'un modèle philosophique antique « Non pas de cette dialectique Platonicienne ou Aristotélicienne qui ne fait que calquer les problèmes sur les solutions, mais plutôt de la maïeutique de Socrate qui prend au sérieux le questionnement au point d'accepter que le dialogue demeure aporétique » (Fabre²⁵⁰, 1993, p. 90). Justement la question centrale est de comprendre pourquoi cette dernière controverse, en apparence de nature scientifique, aboutit à une aporie, comme l'avait très bien noté Geoffroy Saint-Hilaire par ailleurs. Deux critères importants sont à remarquer. Les archives incomplètes et morcelées en paléontologie constituent une des raisons de l'impasse. La difficulté d'une preuve négative ou d'un manque de preuve positive est indéniable. Et le registre créationniste de Blainville oriente son argumentation au détriment de l'objectivité.

Rappelons les principales réserves ou objections, apportées sur la nature réelle des débats en science par G. Gohau et S. Tirard. Elles étaient les suivantes : l'idéologie, la politique ou la théologie peuvent être mêlées aux théories internes à la science, une théorie antérieure est relativisée plutôt que remplacée, des « fausses-sciences » sont vulgarisées et enfin la révolution conceptuelle scientifique ne s'est pas accompagnée de longues discussions entre spécialistes (Gohau & Tirard, 2008). Il ne suffit donc pas qu'il y ait des partisans et des adversaires de thèses concurrentes, encore faut-il qu'ils partagent un problème et échangent des arguments en restant dans le champ des sciences. Autrement dit il ne peut y avoir controverse qu'entre adversaires contemporains qui se reconnaissent au sein d'une communauté scientifique prise à parti et gardant le cap de l'objectivité scientifique. La controverse scientifique existe autour d'un objet fossile comme ce fut le cas entre Blainville et Geoffroy Saint-Hilaire. Cependant son fondement se situe bien au-delà de l'identification du fossile problématique. Si elle réactive le débat des espèces perdues ou analogues entre Cuvier et Lamarck, elle se situe dans un registre différent de la science pour l'un des protagonistes. En histoire des sciences, n'y aurait-il finalement pas de véritable débat que l'on puisse

²⁵⁰ En référence à Michel Meyer, 1986, *De la problématique, science philosophie et langage*, Bruxelles, pp. 72-120

qualifié de scientifique sensu stricto ? Notre exemple, à travers des protagonistes contemporains et de qualité scientifique similaire, semble le confirmer.

4. 2 Justification d'un modèle didactique d'enseignement par problématisation et débat scolaire

Par rapport à ces trois types de discussions, quelle est **la nature des discussions en classe de science** ? L'objectif d'enseignement est de faire vivre aux élèves une problématisation, c'est à dire une construction collective de raisons argumentées tout en reconstruisant des savoirs scientifiques acquis par les communautés scientifiques successives. Certains questionnements sont résolus, d'autres font encore partie de l'actualité scientifique en débat. Dans les situations-débats étudiées, les élèves sont invités à cerner le domaine de compréhension du concept de fossile. Or paradoxalement, ils génèrent un domaine d'extension du concept en se mobilisant nombreux dans la discussion et en démultipliant la question initiale de l'enseignant par de nouvelles corrélations. L'enseignant doit gérer cette complexité en favorisant à la fois un débat divergent et une problématique convergente. Considérons que la transposition didactique est indissociablement couplée entre les savoirs et les pratiques scientifiques (Orange, 2005b). Ces études de cas sont révélatrices d'un double intérêt des situations mettant les élèves en activité de débat, en référence aux pratiques des savants des siècles passés. D'une part, la dévolution donne du sens à l'apprentissage des élèves par un questionnement spécifique et une construction argumentée de leurs problèmes, permettant l'accès à un savoir partagé. Il aura été soumis à la critique collective et sera confronté ultérieurement aux épreuves scientifiques. D'autre part, sans rechercher un isomorphisme illusoire des problématiques historique et didactique, une situation-débat, même si elle est un artifice scolaire, permet de «redéployer toute la richesse de développements féconds et parfois oubliés de la construction historique du savoir» (Chevallard, 1985, p. 47-48).

Nous pouvons noter aussi **l'importance d'une tierce personne**. Elle est caractéristique des dialogues galiléens, mais finalement sa fonction est similaire à celle de Socrate dans les dialogues platoniciens, fonction heuristique comme nous l'avons vu précédemment. Elle a été repérée dans les débats historiques étudiés : le dialogue du XVII^e siècle comprend Ménandre, médiateur principal entre Théophile et Simplicius ; dans le dialogue du XVIII^e siècle, Voltaire pourrait être considéré comme négociateur dans ses intentions premières entre Guettard et La Sauvagère ; et au XIX^e siècle le rôle de médiation entre les deux partis est joué par les institutions scientifiques française et européenne qui questionnent et cautionnent les arguments et les résultats de la communauté scientifique. Ces situations discursives tripolaires nous rappellent le prototype des rôles argumentatifs d'une discussion interactive, discours du Proposant, contre-discours de l'Opposant et du Tiers qui doute, questionne et donnera son approbation « en connaissance de cause » (Plantin, 2005, pp. 63-66). En classe nous serions

amenés à donner a priori ce rôle de Tiers à l'enseignant et les rôles proposant-opposant aux différents groupes d'élèves qui s'ébauchent dans l'argumentation heuristique des situations-débats scolaires à propos des fossiles. Les camps artificialiste et animiste se profilent contre le camp naturaliste. Et selon la distance prise avec l'analogie des êtres vivants actuels le camp transformiste domine contre le camp fixiste. Deux réactions sont apportées par rapport à cet a priori car globalement nous constatons que les rôles s'échangent et élèves et enseignants peuvent modifier leur statut. Dans les trois études de cas effectués, nous avons pu constater que certains élèves changeaient de posture, de proposant ou d'opposant ils tenaient la place du Tiers en prenant en charge le problème. En CM1, l'élève Hugo proposa un modèle explicatif consensuel, composant une origine mi-naturelle et mi-artificialiste tout en questionnant fréquemment ses pairs. En CM2, les élèves, Louis et Mélissa, dirigèrent à un moment donné l'investigation comparative entre les coquilles d'ammonite et d'escargot ; Louis réorienta aussi la séance-débat en demandant à ses pairs de justifier leurs dessins d'animaux analogues aux restes fossiles. Enfin en 4^{ème}, plusieurs élèves interpellèrent leur pairs sur la méthode du paléontologue pour la datation relative des fossiles et l'antériorité des animaux aquatiques par rapport aux animaux terrestres. En conséquence deux catégories d'obstacles peuvent être fissurés, les obstacles liés au savoir et les obstacles liés aux postures épistémologiques (Fillon & al., 2004). Ces différentes initiatives furent déterminantes aussi pour mobiliser la problématisation des autres élèves et développer un champ de possibles. Le Tiers, qu'il soit élève ou enseignant, prend en considération les alternatives entre deux thèses concurrentes. En conséquence, son rôle dans la problématisation réside dans la construction de questions qui les prennent en compte (Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2008). Passons maintenant à la posture de l'enseignant qui guide la discussion. La diversité des fonctions de médiation de l'enseignant, menant ces situations-débats, constitue une autre perspective de recherche que nous avons commencé d'explorer. Les compétences des enseignants dans ces situations complexes d'enseignement où ceux-ci gèrent des débats dits "scientifiques" apparaissent multiples (Crépin-Obert, 2005 & 2007a). Outre les simples passations de parole aux élèves, l'enseignant effectue des prises de décisions importantes en aidant les élèves à comparer leurs opinions, à solliciter leur argumentation, à mettre en doute leur point de vue. Il tiendrait là le rôle principal du Tiers dans la situation argumentative de problématisation. Mais il peut aussi jouer le rôle de «miroir» opposant ou proposant en renvoyant aux élèves tour à tour leurs arguments divergents. Idéalement il devrait prendre en compte et soumettre à la critique des élèves leurs justifications et leurs objections qui ont permis de cerner les raisons possibles, impossibles et nécessaires co-construites. Cette prospection des conditions favorables à une problématisation en sciences, lors d'une activité professionnelle qu'est la situation-débat, demanderait à être approfondie.

CONCLUSION : CONTRIBUTIONS SCIENTIFIQUES ET PERSPECTIVES AUTOUR D'UN SAVOIR PALÉONTOLOGIQUE ISSU DE CONTROVERSES

1. La nature des nécessités à construire en classe en regard de l'histoire des sciences

L'étude verticale que nous avons menée de la construction des concepts paléontologiques et d'une pratique discursive collective aboutit à une **histoire des objets fossiles mêlée à une histoire des idées**. Trois changements conceptuels majeurs structurent cette histoire des idées, tous résultant d'une bataille contre les idées fixistes. Au XVII^e siècle c'est la **transformation des vivants en pierre** qui est la problématique centrale. Au XVIII^e siècle c'est la **disparition chronologique des espèces et le déplacement des mers**. Elle sera affinée au XIX^e siècle par les fossiles archivés dans une colonne stratigraphique, les données paléoécologiques déduites et une échelle des temps géologiques codifiée. Ce sont les prémices du concept majeur du XIX^e siècle, **le transformisme**, descendance des espèces fossiles et actuelles les unes par rapport aux autres. Il sera affiné par l'influence du milieu selon Lamarck, démontré par les travaux embryologiques de Geoffroy Saint-Hilaire puis par la sélection naturelle selon Darwin. Trois niveaux de problématisation aboutissent ainsi à un enchaînement logique : si les fossiles sont des anciens êtres vivants et que certains fossiles n'ont plus d'analogues actuels, alors c'est que des espèces vivantes ont disparu de la surface de la Terre. Et si ces espèces disparues ont encore quelques ressemblances avec les espèces actuelles, alors c'est qu'elles se sont transformées.

L'étude des problématisations possibles au cours des situations de débat en classe comparées à l'étude des problématisations réalisées via les controverses historiques a permis de mettre au jour certaines conditions de construction des savoirs paléontologiques. Nous avons abordé **les savoirs paléontologiques construits par trois nécessités successives** : la nature organique des fossiles ; leur origine d'anciens êtres vivants organisés, marins ou dulçaquicoles ; la filiation entre les êtres vivants, passés et actuels, aquatiques et terrestres au cours des temps géologiques. A travers celles-ci **des nécessités principales à faire construire aux élèves sont retenues pour l'enseignement du savoir paléontologique**. Qu'elles soient freinées ou activées par des obstacles épistémologiques, elles accorderont une place raisonnée aux objets paléontologiques en comprenant mieux la mise en mouvement de la pensée préscientifique vers la pensée scientifique.

La première nécessité est de **penser le temps long** afin d'entrer en histoire véritablement paléontologique et évolutive, *a contrario* d'une pensée figée sur une dimension historique à

l'échelle humaine qui pérennise les paysages actuels, leurs reliefs et les positions des océans. Ceci a été montré antérieurement en tectonique, sur la formation des montagnes (Gohau, 1983) et sur la formation des dorsales et des ophiolites (Denise-Ravachol, 2003). Cette première nécessité fédère les deux nécessités suivantes.

La deuxième nécessité, en lien fort avec la première, est de **penser la complexité** et concevoir une pensée systémique, *a contrario* d'un raisonnement cloisonné. Le concept de fossile est porteur intrinséquement des interactions nécessaires entre les vivants et la Terre à différentes échelles d'étude dans l'espace et dans le temps. Les programmes officiels ne le mettent pas suffisamment en avant alors que notre travail a montré plusieurs nécessités dans ce sens. Construire un lien et une frontière entre les mondes organiques et le monde minéral pour appréhender la nature et l'origine des fossiles. Clarifier la synergie entre fossilisation et sédimentation pour appréhender ce passage d'ancien vivant sur Terre au fossile intégré dans une roche sédimentaire. Cette transformation de la matière, phénomène comprenant de nombreux processus tout en étant liées à des conjonctures exceptionnelles, reste mal comprise des élèves comme des professeurs des écoles. Enfin construire un lien raisonné entre les espèces fossiles et actuelles en mettant en balance leurs différences et leurs ressemblances caractéristiques d'une espèce tout en n'omettant pas sa position dans son encaissant sédimentaire qui lui confère un âge relatif. L'étude des fossiles en tant qu'anciens êtres vivants ne peut être séparée de son contexte géologique. C'est bien une de ses composantes fondamentales qui l'ont défini initialement en tant qu'interface entre la biologie et la géologie. Et c'est bien l'interaction entre des vivants, tels les vertébrés du crétacé, et la mobilité des plaques terrestres qui est fondamentale pour comprendre l'histoire des vivants sur Terre (Buffetaut & Taquet, 1975). Actuellement les outils de laboratoire du géologue et du généticien sont complémentaires pour interpréter les biodiversités passées et actuelles. Tout ceci requiert un changement de paradigme didactique. D'une part passer à un enseignement de la complexité à tous niveaux scolaires. Et d'autre part accepter de travailler sur des concepts actuels « flous » en plein effort de conceptualisation par les communautés scientifiques, tels les concepts d'espèce ou d'évolution biologique, corrélés à la paléontologie. La troisième nécessité, toujours en lien fort avec la première, est d'accepter le hasard des mécanismes et **comprendre la contingence d'une histoire irréversible des vivants**, *a contrario* d'un déterminisme. Le repérage des éléments de différenciation entre un récit scientifique et une mise en histoire simple est une ouverture importante complémentaire de recherche (Orange-Ravachol & Triquet, 2007). Les archives fossiles et l'histoire de la vie sur Terre constituent aussi une intrigue qui mêle dans un rapport polémique récit narratif et histoire explicative.

2. Des nécessités conditionnelles en résistance avec un obstacle polymorphe

Par rapport à la construction de ces nécessités nous retenons deux caractéristiques essentielles dans la dynamique de l'élaboration de la connaissance paléontologique à travers les discussions scolaires et historiques. L'analyse didactique a mis en avant **des nécessités conditionnelles et leurs mises en tension avec un obstacle polymorphe** selon le cadre théorique et méthodologique de la problématisation.

Considérons le premier indicateur. La construction d'un savoir paléontologique résulte d'une corrélation entre l'empirisme et l'explicatif, lui-même contraint entre des possibles et des nécessaires. Dans la mesure où le savoir paléontologique est problématique, il a pu être soumis à la résistance de controverses. Une tension s'établit entre **la phénoménologie**, le monde sensible, **et un rationalisme**, le monde rationnel par des contradictions, des paradoxes, des objections. Et une tension s'établit aussi à un moment donné au sein des modèles explicatifs entre **des nécessités stabilisées et des nécessités conditionnelles**, toutes gardant leur caractère scientifique de réfutabilité. Cherchant à comprendre la construction de ces concepts paléontologiques, notre étude comparative didactique et historique démontre **qu'à travers des problèmes communs et des obstacles a priori convergents les constructions de raisons sont divergentes**. Les impossibilités, les possibilités et les nécessités construites, mises en tension de plus avec un obstacle polymorphe, présentent des différences notables entre les deux communautés discursives, scolaires et historiques. Sous l'angle de la problématisation le récapitulonnisme d'une pensée préscientifique n'est pas validé. Au delà du changement conceptuel délicat à cerner, il nous apparaît important de valoriser un raisonnement qui établit **une interaction forte entre un argument de nécessité et un argument de possibilité**. Lors de cette interaction l'obstacle peut inhiber, initier ou même favoriser la problématisation.

Ces nœuds épistémologiques des controverses sont trop souvent oubliés par la communauté enseignante. D'autant plus qu'en paléontologie la recherche de preuve positive et la réfutation sont encore plus délicates que dans les sciences expérimentales. L'observation directe de la formation d'une nouvelle espèce paléontologique est impossible. Et puisque appartenant aux sciences historiques, toute nouvelle découverte d'archive fossile peut remettre en cause un modèle explicatif admis et peut bousculer un cadre épistémique. C'est pourquoi la valorisation d'un savoir scientifique en tant que **savoir aussi issu de la controverse** est le fondement de cette recherche. Le savoir paléontologique s'est heurté à des contradictions, pouvant aboutir à des apories provisoires, et en a triomphé. En recherche de réponse à trois grands problèmes paléontologiques nous avons rencontré des raisonnements contraires : L'origine artificielle et le transport par l'homme au sein des montagnes des coquilles fossiles vs l'origine entièrement naturelle des coquilles fossiles qu'elles soient dans les roches côtières ou montagneuses ; la nature minérale vs la nature organique des fossiles et leur origine de

semences en terre vs leur origine d'anciens vivants ; les identités de la mâchoire fossile de Stonesfield, mammalienne vs reptilienne en corrélation avec une loi de progression des faunes fossiles le long de l'échelle stratigraphique. Or ces problèmes paléontologiques sont résolus actuellement : l'origine naturelle et organique d'anciens vivants pétrifiés qui opposa Guettard respectivement avec Voltaire et La Sauvagère, l'identité de marsupial du fossile énigmatique d'Angleterre qui opposa Blainville et Geoffroy Saint-Hilaire.

Finalement quelle est l'origine des désaccords dans les différentes discussions repérées ? Considérons alors le second indicateur, **la polymorphie de l'obstacle épistémologique**. Notre étude s'est centrée sur les arguments conflictuels mobilisés dans différents registres - empiriques, des modèles et explicatifs- qui mettent en tension des nécessités en construction en synergie d'obstacles. Or les multiples facettes d'un obstacle nous renvoient à l'image d'un « kaléidoscope logique » proposé par Bachelard (1940/2005). A propos des fossiles, nous avons identifiés et analysés dans le cadre de la problématisation trois obstacles, **l'artificialisme** –considéré dans un sens élargi-, **l'animisme et l'analogisme**, ce dernier étant une nouvelle proposition de catégorisation épistémologique. L'analyse des controverses historiques nous apprend combien et comment ces obstacles peuvent être récurrents et résistants. Ils prennent des formes différentes au cours des siècles, ils sont plus ou moins masqués et ils constituent un réseau dans un cadre épistémique plus complexe que le registre explicatif scolaire. De plus ils révèlent une pensée commune analogue, décelable dans toute pensée préscientifique chez les élèves comme chez les naturalistes. Nous avons voulu initialement regrouper les deux communautés discursives, scolaires et historiques, selon une méthodologie comparative par des problèmes paléontologiques communs et ces obstacles convergents. Parfois la convergence a été forcée comme ce fut le cas de l'artificialisme s. l. portant sur toute intervention humaine. Nos résultats de l'étude comparée et approfondie des processus de problématisation, entre élèves et savants, démontrent que cette convergence n'est qu'apparente. Ce qui renforce le polymorphisme des obstacles, que nous préférons qualifier plutôt d'obstacles voisins ou approchants. Sous l'angle de l'obstacle le récapitulonnisme d'une pensée préscientifique enfantine n'est pas validé non plus en regard de la pensée historique. Cependant un trait commun fort semble émerger et fédérer nos trois obstacles au niveau de l'étude historique, **la pensée créationnisme serait à l'origine des controverses historiques**. Associé à l'idée d'un transport humain des coquilles fossiles émise par Voltaire, l'obstacle principal reste la structure permanente des reliefs créés lors de la genèse du monde. Associé à l'idée de semences de coquilles fossiles émise par La Sauvagère, l'obstacle principal reste la position pérenne des mers engendrées par le Créateur. Guettard, cependant fort pieu, séparait les méthodes scientifiques et la religion. Et associée à l'idée de progression des faunes de Blainville –les fossiles s'intercalant parmi les espèces actuelles-, l'obstacle est encore la création d'un monde harmonieux déterminé par un Créateur qui a conçu le plan parfait d'une chaîne d'êtres vivants. Ces exemples conforteraient la réflexion

avancée par G. Gohau et S. Tirard (1998) puisque à nouveau il n'y aurait pas engagement de véritable débat maintenu dans le champ des sciences. N'y aurait-il alors pas de véritable débat scientifique ? N'y aurait-il que des controverses dues à ce que l'un des protagonistes tombe finalement dans le registre religieux par exemple ? La pensée prégnante finaliste et fixiste est remarquable dans ce sens. C'est pourquoi la place prépondérante de l'homme dans les systèmes explicatifs mobilisés dans nos situations de débat menés en primaire et au collège nous inviterait à croiser nos travaux avec une étude épistémologique et sociologique sur l'origine de l'espèce humaine. Des conceptions finalistes -gradualistes et linéaires- se heurtent aux conceptions évolutionnistes -buissonnantes et contingentes- dans les manuels scolaires (Quessada-Chabal, 2008). Les premières ne révéleraient-elles pas en définitive un créationnisme inconscient ? Les tensions entre science et religion sont fortement marquées dans nos différentes études de cas historiques. Il serait intéressant d'approfondir cet axe en prenant appui sur l'histoire des sciences afin d'anticiper les contre-arguments récurrents. Notre échantillon d'élèves ne l'a pas manifesté dans les situations de débat scolaire. Par opposition aux protagonistes historiques la disparition des mers n'est pas questionnée en CM1, à peine en CM2, elle le sera pleinement en 4^{ème} de collège. La montée du courant néocréationniste doit maintenir notre vigilance de cet « enseignement à risque » (Coquidé & Tirard, 2008) afin de mieux cerner la cohabitation d'un rapport au savoir « évolution des espèces vivantes » et d'un rapport à la religion (Aroua, 2006 ; Mairone, 2009²⁵¹).

Il découle donc une quatrième nécessité, au-delà des savoirs savants, **séparer science et religion** pour une cohabitation négociée harmonieuse individuelle, *a contrario* d'un mélange des registres source de dérives. La rupture conceptuelle liée à l'évolution biologique est plus difficile à accepter actuellement que toute autre selon une enquête internationale menée dans trente pays européens, les Etats-Unis, la Turquie et le Japon (Gayon, 2008)²⁵². La théorie synthétique de l'évolution semble perpétuer ou accentuer encore les obstacles que nous avons décelés par les études liées à la naissance de la paléontologie –artificialisme et anthropocentrisme, animisme et finalisme-crétionniste, analogisme et progressionnisme-. Elle touche donc l'homme dans son psychique et son affectif, alors que la révolution de la tectonique des plaques, beaucoup plus récente car issue des années 1960, est reconnue et admise²⁵³. Sans doute parce qu'elle ne concerne que le monde minéral. Cette recherche peut éclairer la concurrence actuelle des thèses évolutionnistes et créationnistes, ces dernières

²⁵¹ ♦ Cf. du même auteur (à soutenir en nov. 2009). *L'enseignement de l'évolution des espèces vivantes à l'école primaire française. Rapports au savoir d'enseignants et d'élèves de cycle 3*. Thèse dir. J.-J. Dupin : Université d'Aix-Marseille.

²⁵² Rappel lors de l'intervention de Jean Gayon au colloque « Enseigner l'évolution », 13-14 novembre 2008, MEN-Dgesco. L'enquête est issue de *Science* du 11/8/2006.

²⁵³ Dès 1976 l'ouvrage d' Hallam le met bien en valeur. Hallam, A. (1976). *Une révolution dans les sciences de la Terre (de la dérive des continents à la tectonique des plaques)*. Évreux : Éditions du seuil.

mélangeant le registre religieux et scientifique et opposant Dieu à Darwin (Lecourt, 1998 ; Gould, 2000 ; Chaline, 2006 ; Arnould, 2007²⁵⁴).

3. Perspectives de l'usage des controverses pour la formation scientifique des enseignants :

Les situations de discussion menée en classe et le repérage des temps forts de controverse sont inspirés en définitive de **la maïeutique socratique de Platon**. Les situations de débats en classe et la problématisation rejoignent cette philosophie de l'enseignement. Problématiser c'est faire prendre conscience aux élèves qu'ils ont les moyens de chercher et de redécouvrir la construction de concepts même ardue. C'est leur offrir le désir d'apprendre en développant la curiosité et le sens critique. C'est les convaincre qu'ils peuvent poser des questions pertinentes, qu'ils peuvent trouver différentes pistes de solutions en raisonnant, qu'ils peuvent trouver des arguments appropriés pour défendre différentes explications. Pour que les discussions puissent être fécondes **l'important semble être de savoir libérer la parole des élèves afin de connaître leur cheminement**. En France, berceau de la paléontologie, les institutions ont permis à de nombreux naturalistes et autres savants – Du Hamel, Guettard, Voltaire, La Sauvagère, De Blainville, Geoffroy Saint-Hilaire – de s'exprimer librement. Ces savants des siècles précédents ont pu eux aussi s'égarer et se tromper. Les objets fossiles ont été soumis à leur questionnement et à leurs arguments contraires. L'accès aux raisons n'est pas figé mais co-construit et évolutif ce qui révèle la nature de la connaissance scientifique « un vrai sur fond d'erreur, telle est la forme de la pensée scientifique » (Bachelard, 1949/2004, p.48). L'erreur étant permise, la science paléontologique devient accessible à toute communauté scientifique ou scolaire. Car les méandres nécessaires pour construire les savoirs acquis aujourd'hui ont été trop souvent oubliés. Notre mémoire collective culturelle est trompeuse qui ne retiendrait que les résultats de la science.

Dans ce sens **les intérêts d'une étude comparative des controverses** didactique et historique sont multiples. Les différents textes historiques, redécouverts ou même découverts, ont été très intéressants à exploiter en corrélation avec les problématiques des élèves. Plus particulièrement nous attirons l'attention sur les deux textes que nous avons découverts – au XVII^e siècle l'ouvrage en latin de Du Hamel sur la solidité des pierres et des fossiles et, au XVIII^e siècle, le manuscrit de J.-E. Guettard s'opposant à Voltaire sur l'origine et la nature des coquilles fossiles ainsi que sur la formation des montagnes. Ce sont de véritables

²⁵⁴ Arnould, J. (2007). *Dieu versus Darwin. Les créationnistes vont-ils triompher de la science ?* Paris : Albin Michel.

Gould, S. J. (2000). *Et Dieu dit : "Que Darwin soit !"* Paris : Seuil.

Lecourt, D. (1998). *L'Amérique entre la bible et Darwin*. Paris : Presses Universitaires de France

« trésors » révélateurs de la pensée préscientifique pour l'historien. Mais ce sont aussi des leviers d'apprentissage et d'enseignement pour le didacticien. Premièrement, ils permettent d'éclairer le potentiel de construction des problèmes paléontologiques par des élèves de primaire ou de collège. Deuxièmement, ils dédramatisent les erreurs des élèves, comparables aux erreurs historiques décelées. Les élèves seraient déculpabilisés (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p.129 ; Astolfi, 1997/2009). Troisièmement, les enseignants avertis seraient moins démunis par les récurrences et donc la résistance des obstacles, artificialiste, animiste ou analogiste. Chacun des espaces de contraintes et de possibles constitue un « outil de recherche pour le didacticien » et un « outil d'anticipation pédagogique pour l'enseignant » (Fabre, 1999a, p. 211).

En conséquence cette thèse veut être aussi **une ouverture vers la formation scientifique des enseignants**. Notre corpus pourra être analysé sous d'autres angles didactiques. Le pilotage du débat par l'enseignant pour assurer une problématisation apparaît comme une analyse complémentaire incontournable. Mais quelles compétences professionnelles enseignantes sont requises précisément ? Comment l'enseignant prend-il en charge la problématisation en synergie des obstacles émergents ? Comment pourrions-nous croiser, dans une analyse didactique, l'interaction enseignante et les mises en tension problématisantes des élèves ? Comment l'enseignant conduit-il les élèves vers les nécessités validées par la communauté paléontologique actuelle puisqu'il doit être garant de la validation des savoirs ? Le cadre théorique de la problématisation peut être croisé avec le cadre des pratiques langagières argumentatives comme cela a été effectué sur les mécanismes d'évolution concept d'ancêtre en lycée ou le concept d'ancêtre commun hypothétique en formation d'étudiants, futurs professeurs de sciences de la vie et de la Terre (Lhoste, 2008). L'analyse de la dynamique des interactions langagières du professeur et des élèves nous semble fondamentale comme piste de recherche complémentaire afin de repérer les leviers de négociation vers un savoir co-construit et les modes de pilotage des enseignants (Schneeberger, Robisson, Liger-Martin & Darley, 2007). Enfin nous proposons de faire acquérir aux professeurs **une vigilance épistémologique appuyée d'une flexibilité pédagogique** (Astolfi, 1993, p.138). Enseigner en s'appuyant sur des problématisations éclairées par l'histoire des sciences, via des situations de débats en sciences, **grâce à un enseignement faisant bon usage des controverses paléontologiques passées et actuelles**. La posture épistémologique choisie est d'orienter le professeur à reconstruire l'histoire des vivants sur Terre - et non de la raconter- à travers certaines controverses autour d'objets fossiles parfois exceptionnels. En prolongement, l'«*effet miroir*» proposé au niveau de l'élève (Astolfi et Péterfalvi, 1997, p. 199) pourrait être repris au niveau de l'enseignant. Si pour l'élève, la confrontation à des morceaux choisis de textes historiques, a comme objectif la dédramatisation de ses propres erreurs, qu'en serait-il pour l'enseignant ? Quelles ruptures ou bénéfices seraient engendrés dans les pratiques professionnelles des enseignants ? Pourraient-ils prendre mieux ainsi la mesure du saut

conceptuel demandé aux élèves, d'une part entre le merveilleux et le rationnel, d'autre part entre la conception théorique de l'évolution et les échantillons fossiles observés? La confrontation aux textes historiques valorisés en paléontologie dans cette thèse constituerait un moyen adapté au service de la formation des enseignants afin de les sensibiliser à la nature du savoir paléontologique en particulier et du savoir scientifique en général. Les fossiles et l'histoire de la vie sur Terre sont à la fois connus et méconnus, ordinaires par le quotidien ou les médias mais aussi extraordinaires par la part de mystère à peine dévoilée qu'ils révèlent. Si bien que nous pouvons « [...] en deviner les contours, en entrevoir le secret, mais qu'il faut qu'il reste caché et que le secret ne soit pas percé. Si le rôle du maître est bien de faire émerger le désir d'apprendre, sa tâche est de *créer l'énigme*, ou plus exactement de *faire du savoir une énigme* : en dire ou en montrer suffisamment pour que l'on entrevoit son intérêt et sa richesse et se taire à temps pour susciter l'envie du dévoilement » (Meirieu, 1987/1993, p. 92). Les anciennes énigmes paléontologiques sont concrétisées dans des espaces privilégiés, les musées de paléontologie et plus particulièrement celui d'anatomie comparée et de paléontologie du Muséum d'histoire naturelle de Paris. Celui-ci apparaît être un excellent terrain didactique à exploiter par les objets exposés qui sont aussi des marqueurs d'une histoire des idées – la collection des momies d'animaux rapportées d'Égypte par Geoffroy Saint-Hilaire en 1802, symbole des idées fixistes ; le Plésiosaure d'Angleterre acheté à Mary Anning par Constant Prévost en 1824, symbole des espèces disparues ; la fabuleuse collection d'invertébrés fossiles constituée par d'Alcide d'Orbigny de 1815 à 1840, symbole de la paléontologie stratigraphique et des fossiles caractéristiques des différents étages-. Quant aux énigmes actuelles, elles sont tout aussi motivantes. Les découvertes récentes lèveraient-elles le mystère de la disparition des dinosaures ? En Chine des petits dinosaures à duvet plumeux bousculent l'idée de corrélation avec le vol. Au Portugal fut découvert récemment un nid d'une centaine d'œufs qui contient des embryons fossilisés de dinosaures datant du Jurassique. Grande première en Europe, l'étude des embryons apportera des indices de croissance et de couvaison. En Amérique du Nord des dinosaures à crête nasale, redécouverts en 2008, chantaient peut-être à la fin de l'ère secondaire. En France dans le Jura, n'oublions pas les gisements impressionnants (jusqu'à 3000 empreintes !) de nouvelles pistes de dinosaures carnivores (Théropodes) et herbivores (Sauropodes), parfois terriblement gigantesques, de Coisia (2004), de Loulle (2006) et de Plagne (2009). Grâce aux coquilles fossiles tous ces gisements exceptionnels sont datés précisément au sein des périodes Crétacé ou Jurassique. Selon l'échelle d'étude considérée pouvons-nous dire que les dinosaures aient vraiment disparu s'ils se rapprochent autant des oiseaux actuels ? L'aventure scientifique via l'enquête paléontologique à venir promet d'être tout aussi passionnante que celle réalisée par le passé d'après les éclairages historiques apportés. Or les enseignants actuels sont plus effrayés que réjouis des savoirs scientifiques bousculés et croissants. Pour cette même raison, Cuvier avait déjà repéré cette tendance réfractaire des enseignants vis-à-vis des disciplines

scientifiques (Taquet, 2001). Défenseur d'un enseignement scientifique, généralisé et laïc, de l'enfance à l'Université, utiles à tous les corps de métier, Cuvier se préoccupa de réformer l'enseignement des sciences à partir de 1808 –rapports sur l'Instruction publique, propositions de rénovation des contenus d'enseignement et d'innovation des méthodes pédagogiques-. Quel chemin parcouru entre l'enseignement des sciences défendu par Cuvier et celui que nous défendons aujourd'hui ? Tous les programmes français de sciences de la vie et de la Terre sont fondés autour du concept d'évolution. Ceux de 2007 pour l'enseignement du primaire et du collège l'abordent différemment comme une idée illustrée par des faits ou comme un modèle explicatif –tels tels les fossiles et leur répartition stratigraphique- ou encore comme paradigme en biologie. Malgré tout, la compréhension de l'évolution est plus intuitive que construite dans cette scolarité (Orange, 2008). Au vu de notre étude nous regrettons les nouvelles prescriptions curriculaires de 2008 pour l'école primaire qui ont supprimé les termes de fossiles et d'évolution. Ce changement nous paraît préjudiciable à un développement harmonieux entre un registre scientifique collectif et un registre religieux personnel qui lui est pris en charge d'une façon institutionnelle dès les premières années de l'enseignement primaire. De plus la controverse, l'énigme, l'enquête, voire l'échec, sont intrinséquement liés à la question des savoirs scientifiques problématisés ; ils fondent « les règles du jeu de la cité scientifique » qu'il serait bon d'enseigner en même temps que les savoirs et les méthodes de la science (Fabre, 2009). Effectivement, selon nous, l'enseignant de sciences gagnerait à accepter de surprendre ses élèves par les nouvelles découvertes bousculant en partie des savoirs paléontologiques actuels cristallisés. Il gagnerait à développer leur intérêt du sens des problèmes paléontologiques anciens et présents grâce à ces énigmes paléontologiques. C'est au prix de cette posture épistémologique qu'il impulsera le goût de l'apprentissage scientifique à son public en incarnant le plaisir de chercher puis la joie de savoir mais aussi la conscience d'une distance nécessaire entre science, idéologie et religion.

BIBLIOGRAPHIE

Remarques :

- La date de première édition, essentielle pour les sources historiques, est référencée en premier. La seconde date référencée, plus récente, est celle de l'ouvrage dont les pages peuvent être précisées.
- Pour les mémoires de l'Académie des sciences, le même principe est adopté : la première date est la date de la publication et la seconde date est l'année d'édition, l'écart pouvant être parfois important entre les deux.

1 Histoire des sciences, histoire de la géologie et de la paléontologie

Outils de recherches bibliographiques

- ♦ Boinet, A. (1914). *Catalogue général des manuscrits des bibliothèques publiques de France* (Tome II). Paris : Plon-Nourrit.
- ♦ Collectif (MM. Les secrétaires perpétuels). (1881). *Table générale des travaux contenus dans les mémoires de l'Académie*. (1^{ère} série, Tomes 1 à 14, an VI-1815 ; 2^{de} série, Tomes 1 à 40, 1816-1878). Paris : Gauthier-Villars.
- ♦ Cotte, (1809). *Table générale des matières contenues dans l'Histoire & dans les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (T10 -1781-1790). Paris : Bachelier
- ♦ Godin, L. (1729-1734). *Table alphabétique des matières contenues dans l'Histoire & les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (T1 à T4-1666-1730). Paris : Compagnie des libraires.
- ♦ Demours, M. (1747-1786). *Table générale des matières contenues dans l'Histoire & dans les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (T5 à T9 -1741-1780). Paris : Compagnie des libraires/ Panckoucke/Imprimerie Moutard.
- ♦ Heurtel, P. (dir.) & Van Wormhoudt, K. (1997). *Archives du Muséum National d'Histoire Naturelle –Inventaire*.
- ♦ Laissus, Y. (1965). *Supplément au Catalogue général des manuscrits des bibliothèques publiques de France* (Tome LV). Paris : Bibliothèque nationale
- ♦ Laissus, Y. (1996). *Catalogue des manuscrits* (2^{ème} supplément –Table n°2528 à 3270). Paris : Bibliothèque Centrale du Muséum National d'Histoire Naturelle.
- ♦ Levallois, H. (coord.). (1926). *Catalogue général des livres imprimés de la bibliothèque nationale - Auteurs* (Tome 89). Paris : Imprimerie nationale.
- ♦ Popoff, M. (dir.). (1993). *Index général des manuscrits : décrits dans le Catalogue général des manuscrits des bibliothèques publiques de France* (3 vol.). Paris : Références.
- ♦ Rozier, l'abbé. (1775-1776). *Nouvelles tables des articles contenus dans les volumes de l'Académie Royale des Sciences de Paris depuis 1666 jusqu'en 1770* (4 tomes). Paris : Ruault.
- ♦ www.academie-sciences.fr
- ♦ gallica.bnf.fr

Outils pour la traduction latine

♦ Dusfresnes, C. sieur Du Cange. (1678/1883-1887). *Glossarium mediae et infimae latinitatis*. site américain : [//standisch.stanford.edu](http://standisch.stanford.edu).

♦ Gaffiot, F. (1934). *Dictionnaire latin français*. Paris : Hachette.

Sources primaires historiques (classées par siècle)

XVI^e et XVII^e siècles

♦ Descartes, R. (1647/1999). *La Terre & son histoire*. Clermont-Ferrand : éditions Paleo.

♦ Du Hamel, J.-B. (1660). *De meteoris et fossilibus, per dialogos, libri duo*. Paris : P. Lamy.

♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de. (1687/1998). *Entretiens sur la pluralité des mondes*. Paris : Flammarion

♦ La Hire, P. de. (1692/1730), Description d'un tronc de palmier pétrifié, & quelques réflexions sur cette pétrification. *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris de 1666 jusqu'à 1699*, Tome X, 140-143.

♦ Lhwyd, E. (1699/1749). *Lythophylacii Britannici Ichnographia*. Londres.

♦ Palissy, B. (1580). *Discours admirables de la nature des eaux & fontaines tant naturelles qu'artificielles, des métaux, des sels & salines, des pierres, des terres, du feu & des émaux, avec plusieurs autres excellents secrets des choses naturelles, plus un traité de la marne fort utile & nécessaire pour ceux qui se mêlent de l'agriculture, le tout dressé par dialogues lesquels sont introduits la théorie & la pratique*. Paris : Martin le Jeune.

♦ Palissy, B. (2004). *Discours admirables*. Clermont-Ferrand : éditions Paleo.

XVIII^e siècle

♦ Alembert, J. Le Rond d'. (1751). Accroissement. In D.Diderot & J. Le Rond d'Alembert (dir.), *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres -juin 1751- décembre 1765* (Vol. 1, p. 87). Paris : Briasson.

♦ Alembert, J. Le Rond d'. (1751). Coquille. In D.Diderot & J. Le Rond d'Alembert (dir.), *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres -juin 1751- décembre 1765* (Vol. 4, p. 184-185). Paris : Briasson.

♦ Bertrand, É. (1752). *Mémoires sur la structure intérieure de la terre*. Zurich : Heidegger.

♦ Bertrand, É. (1754). *Essai sur les usages des montagnes, avec une lettre sur le Nil*. Zurich : Heidegger.

♦ Bertrand, É. (1763). *Dictionnaire universel des fossiles propres et des fossiles accidentels, contenant une description des terres, des sables, des sels, [...], des pétrifications du règne animal, & du règne végétal &c. avec des recherches sur la formation de ces fossiles, sur leur origine, leurs usages &c.* La Haye : Pierre Gosse junior et Daniel Pinet.

♦ Bertrand, É. (1766). *Recueil de divers traités sur l'histoire naturelle de la terre et des fossiles*. Avignon : Louis Chambeau.

♦ Boulanger, N.-A. (1753). Lettre de M. Boulanger, Sous-Inspecteur des Ponts & Chaussées ; à l'Auteur du Mercure. *Mercure de France*, juin, vol.2, 89-97.

♦ Bourguet, L. & Cartier, P. (1742). *Traité des pétrifications*. Paris : Briasson.

- ♦ Buffon, G.-L. Leclerc, Comte de. (1749/2003). *Histoire naturelle, générale et particulière, avec la description du cabinet du roi* (Volume 1). Paris : Imprimerie Royale/Clermont-Ferrand : éditions Paleo.
- ♦ Buffon, G.-L. Leclerc, Comte de. (1770-1790). *Histoire naturelle, générale et particulière-Suppléments*. Paris : Imprimerie royale
- ♦ Buffon, G.-L. Leclerc, Comte de. (1778-1779/ 1998). *Des époques de la nature - Introduction et notes de Gabriel Gohau*. Paris : Diderot multimédia.
- ♦ Buffon, G.-L. Leclerc, Comte de. (1749/1839 et 1778/1839). *Oeuvres complètes de Buffon, avec des extraits de Daubenton et la classification de Cuvier*. (Tome premier -Théorie de la Terre). Paris : Furne & Ce.
- ♦ Buffon, G.-L. Leclerc, Comte de. (1971). *Correspondance générale recueillie et annotée par H. Nadault de Buffon*. Genève : Slatkine reprints.

- ♦ Collectif. (1763). *Dictionnaire portatif d'histoire naturelle contenant l'Histoire, la Description et les principales propriétés des animaux et des minéraux. Avec un Discours Philosophique sur la méthode à conduire son esprit dans l'étude de l'Histoire Naturelle. Ouvrage utile aux Naturalistes, aux Physiciens, aux Pharmaciens & à toute personne qui passe sa vie à la campagne*. Paris : Claude Jean-Baptiste Bauche.

- ♦ Condorcet, M. J. A. N. Caritat de, marquis de. (1786/1788). Éloge de M. Guettard. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 47-62

- ♦ Costa, E. Mendes da. (1750). Minute autographe en réponse à Guettard du 5 février 1750. In Ms 2533 (feuilles 69, 4 pages). Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle.

- ♦ Dezallier d'Argenville, A.-J. (1742/1757/1780). *L'histoire naturelle éclaircie dans une de ses parties principales, la conchyliologie, qui traite des coquillages de mer, de rivière et de terre : ouvrage dans lequel on trouve une nouvelle méthode latine & françoise de les diviser : augmenté de la zoomorphose, ou représentation des animaux a coquilles avec leurs explications*. Paris : De Bure l'aîné.

- ♦ Diderot, D. & Alembert, J. Le Rond d'. (dir.) (juin 1751- décembre 1765). *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres*. Paris : Briasson.
- ♦ Diderot, D. & Alembert, J. Le Rond d'. (1765). Figurées (Pierres). In *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres* (Vol. 12, pp. 782-783). Paris : Briasson.

- ♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de, (1702/1994). Préface sur l'utilité des Mathématiques et de la Physique et sur les travaux de l'Académie des Sciences - Histoire du renouvellement l'Académie Royale des Sciences en M.DC.XCIX. In *Œuvres complètes* (Tome 6, pp. 35-69). Paris : Fayard.
- ♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de. (1703/1720). Diverses observations de Physique générale. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 22-24.
- ♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de. (1706/1731). Eloge de M. Du Hamel. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 142-152.
- ♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de. (1716/1718). Sur l'origine des pierres. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 8-16.
- ♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de. (1720/1722). Sur des coquilles fossiles de Touraine. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 5-9.
- ♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de. (1722/1724). Sur les Cornes d'Ammon. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 1-4.
- ♦ Fontenelle, B. Le Bouyer de. (1733/1996). Préface de l'histoire de l'Académie des Sciences depuis 1666 jusqu'en 1699. In *Œuvres complètes* (Tome 7, pp.335-354). Paris : Fayard.

- ♦ Fouchy, J.-P. Grandjean de. (1755/1761). Sur les Encrinites et les Pierres étoilées. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 29-34.
- ♦ Fouchy, J.-P. Grandjean de. (1759/1765). Sur les accidens des coquilles fossiles, comparés à ceux qui arrivent aux coquilles qu'on trouve maintenant dans la mer. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 9-15.
- ♦ Guettard, J.-É. (1746/1751). Mémoire et carte minéralogique sur la nature & la situation des terrains qui traversent la France & l'Angleterre. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 363-392.
- ♦ Guettard, J.-É. (1749). Lettre de Guettard à Da Costa du 15 décembre 1749, en remerciement d'une caisse de fossiles envoyés à Buffon. In Ms 2533 (feuilles 68, 3 pages). Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle.
- ♦ Guettard, J.-É. (1751/1755). Présente à l'Académie un gros os fossile trouvé aux environs d'Étampes, & du bois fossile, trouvé à Chatoul. *Histoire de l'Académie royale de Paris*, 36.
- ♦ Guettard, J.-É. (1755/1761). Mémoire sur les Encrinites et les Pierres étoilées, Dans lequel on traitera des Entroques, des Trochites, &c. Première partie. *Mémoire de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 224-263.
- ♦ Guettard, J.-É. (1755/1761). Mémoire sur les Encrinites et les Pierres étoilées, Dans lequel on traitera des Entroques, des Trochites, &c. Seconde partie. *Mémoire de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 318-354.
- ♦ Guettard, J.-É. (1757/1762). Mémoire sur les ardoisières d'Angers. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 52-87.
- ♦ Guettard, J.-É. (1759/1765). Mémoire sur les accidents des Coquilles fossiles, comparés à ceux qui arrivent aux Coquilles qu'on trouve maintenant dans la Mer -Première partie. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 189-226.
- ♦ Guettard, J.-É. (1763/1766). Observations minéralogiques, faites en France et en Allemagne – seconde partie. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris -première partie & seconde partie*, 137-166. & 193-228.
- ♦ Guettard, J.-É. (1768). Troisième mémoire -Sur des os fossiles d'animaux terrestres. In *Mémoires sur différentes parties des Sciences & Arts* (Tome premier, pp.29-80). Paris : Laurent Prault.
- ♦ Guettard, J.-É. (1770). Cinquième mémoire -Des matrices ou des différens corps, dans lesquels les Madrepores & les autres corps de cette classe se trouvent renfermés, du changement de nature qu'ils y ont souffert, & du mécanisme qui peut avoir été employé par la nature, pour pétrifier ces corps. In *Mémoires sur différentes parties des Sciences & Arts* (Tome second, pp. xvj-xx & pp. 147-161). Paris : Laurent Prault
- ♦ Guettard, J.-É. (1783a). Premier mémoire – Sur plusieurs Corps marins fossiles de la classe des Coraux ; ou Supplément aux Mémoires du second & du troisième Volume des Mémoires sur les Sciences & les Arts, dans lesquels il a été question de fossiles semblables. In *Mémoires sur différentes parties des Sciences & Arts* (Tome quatrième, pp.1-75). Paris : Philippe-Denys.
- ♦ Guettard, J.-É. (1783b). Dixième mémoire- Sur des Os fossiles, pour servir de suite à celui dans lequel on a traité d'Os semblables & qui fit partie du premier Volume de ces Mémoires. In *Mémoires sur différentes parties des Sciences et Arts* (Tome cinquième, pp.297-313). Paris : Philippe-Denys Pierres.
- ♦ Guettard, J.-É. (1786a). Dixième mémoire, sur les différents corps naturels qui peuvent faire sentir la passage qu'il y a d'une classe ou d'un genre d'Etres, à une classe ou à un genre d'un autre Etre. In *Nouvelle collection de mémoires sur différentes parties intéressantes des sciences et des arts* (Tome second, pp. 419-459). Paris : Lamy.
- ♦ Guettard, J.-É. (1786b). Quatorzième mémoire sur les Pierres figurées, pour servir à l'histoire des Préjugés en Minéralogie, et à l'intelligence de plusieurs endroits de l'Histoire Naturelle de Pline. In *Nouvelle collection de mémoires sur différentes parties intéressantes des sciences et des arts* (Tome second, pp. 503-614). Paris : Lamy.
- ♦ Guettard, J.-É. (1786c). Septième mémoire- Sur les Glossopètres ou Dents de requins fossiles. In *Nouvelle collection de mémoires sur différentes parties intéressantes des sciences et des arts* (Tome troisième, pp. 146-187). Paris : Lamy.

- ♦ Guettard, J.-É. (1786d). Huitième mémoire- Sur les Bufonites ou Crapaudines. In *Nouvelle collection de mémoires sur différentes parties intéressantes des sciences et des arts* (Tome troisième, pp. 187- 214). Paris : Lamy.
- ♦ Guettard, J.-É. (1786e). Neuvième mémoire- Sur les Bélemnites. In *Nouvelle collection de mémoires sur différentes parties intéressantes des sciences et des arts* (Tome troisième, pp. 215-296). Paris : Lamy.
- ♦ Guettard, J.-É. (n.d. post. 1765 ou 1779). Lettre de Guettard à Buffon. In *Ms 227* (Minutes de lettres adressées par Guettard, feuilles 156- 159). Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle.
- ♦ Guettard, J.- É. (n.d. post. 1768a). Réponse à Voltaire au sujet de la formation des pierres et coquilles. In *Ms 2186, Minéralogie 1, B. Notes diverses sur la minéralogie, son utilité, la façon de l'étudier.* (feuilles 50-58). Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle.
- ♦ Guettard, J.-É. (n.d. post. 1768b). Jean Baptiste Duhamel. In *Ms 2186, Minéralogie 1, B. Notes diverses sur la minéralogie, son utilité, la façon de l'étudier* (feuilles 63-64). Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle.
- ♦ Guettard, J.-É. (n.d. post. 1776). Examen du système de M. de La Sauvagère sur la pierre d'eau. In *Ms 2185 Conchyliologie et fossiles* (feuilles 82-89). Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle.
- ♦ Guettard, J.-É. (n.d.). Système des caractères minéralogiques associés aux cartes. In *Ms 3307, archives du Muséum d'histoire naturelle de Paris, folio 88.*

- ♦ Guettard, J.-É. & Monnet A.-G. (1780). *Atlas et Description minéralogiques de la France entrepris par ordre du roi par MM. Guettard et Monnet, publiés par M. Monnet, d'après ses nouveaux voyages : 1ere partie comprenant le Beauvoisis, la Picardie, le Boulonnais, la Flandre Française, le Soissonnais, la Lorraine Allemande, une partie de la Lorraine Française, le pays Messin & une partie de la Champagne.* Paris : Didot l'aîné-Desnos-Jombert.

- ♦ Herbigny, M. l'Abbé Favart d'. (1775). *Dictionnaire d'histoire naturelle, qui concerne les Testacés ou les Coquillages de Mer, de Terre & d'Eau-douce. Avec la Nomenclature, la Zoomorphose, & les différens systèmes de plusieurs célèbres Naturalistes anciens et modernes* (3 volumes). Paris : Bleuët.

- ♦ Holbach, P. H. D., baron d'. (1757). Fossile. In D.Diderot & J. Le Rond d'Alembert (dir.), *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres -juin 1751- décembre 1765* (Vol. 7, pp. 209-211). Paris : Briasson.
- ♦ Holbach, P. H. D., baron d'. (1765). Pétrification. In D.Diderot & J. Le Rond d'Alembert (dir.), *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres -juin 1751- décembre 1765* (Vol. 12, pp. 468-470). Paris : Briasson.

- ♦ Jussieu, A. de. (1718/1741). Examen des causes des Impressions des plates marquées sur certaines Pierres des environs de Saint-Chaumont dans le Lyonnais. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 287-298.
- ♦ Jussieu, A. de. (1722/1724). De l'origine et de la formation d'une sorte de pierre figurée que l'on nomme Corne d'Ammon. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 235-243
- ♦ Jussieu, A. de. (1723/1753). De l'origine des pierres appelées yeux de serpents et crapaudines. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 205-210

- ♦ La Sauvagère, F.-F. Le Royer d'Artez de. (n.d. /1763 en réf. 1776, p. 127). *Mémoire sur une pétrification mêlée de coquilles, qui se voit dans une pièce d'eau du château des Places, près de Chinon en Touraine.* S.l.n.d. : Imprimerie royale
- ♦ La Sauvagère, F.-F. Le Royer d'Artez de, (1776). *Recueil de dissertations ou recherches historiques et critiques [...], avec de nouvelles assertions sur la végétation spontanée des coquilles du château des Places, des dessins d'une collection de coquilles fossiles de la Touraine et de l'Anjou, de nouvelles idées sur la Falunière de Touraine et plusieurs lettres de M. de Voltaire, relatives à ces différents objets...* (pp. i-xxvj et pp. 127-171). Paris : Veuves Duchesne & Tilliard.

- ◆ Maillet, B. de. (1755/1984) *Telliamed ou entretiens d'un philosophe indien avec un missionnaire français sur la diminution de la mer*, Tours : Fayard.
- ◆ Mussard, F. (1753). Lettre de M. F. Mussard de Genève à M. Jallabert. *Mercur de France*, mai, 86-93.
- ◆ Réaumur, R.-A. Ferchault de. (1715/1718). Observations sur les Mines de Turquoises du Royaume ; sur la nature de la Matière qu'on y trouve, & sur la manière dont on lui donne sa couleur. *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris*, 174-202.
- ◆ Réaumur, R.-A. Ferchault de. (1720/1722). Sur les Coquilles Fossiles de quelques cantons de la Touraine, & sur les utilités qu'on en tire. *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris*, 400-416.
- ◆ Robinet, J.-B.-R. (1763-1766). *De la nature*. Amsterdam : E. Van Harrevelt
- ◆ Rouelle, F.-G. (1757). De la Chimie. In *Ms 5021 Le cours de chimie de François-Guillaume Rouëlle* (Vol. 1, pp. 1-33). Bibliothèque InterUniversitaire de Médecine.
- ◆ Rouelle, F.-G. (1758). Règne minéral. In *Ms 5022 Le cours de chimie de François-Guillaume Rouëlle* (Vol. 2, pp. 1-33). Bibliothèque InterUniversitaire de Médecine.
- ◆ Sauvages, P.-A. Boissier de la Croix de. (1746/1751). Mémoire contenant des observations de Lithologie, pour servir à l'Histoire Naturelle du Languedoc, & à la théorie de la Terre. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 713-758, pl. 45-47.
- ◆ Sauvages, P.-A. Boissier de la Croix de. (1747/1752). Suite du mémoire contenant des observations lithologiques, pour servir à l'Histoire Naturelle du Languedoc, & à la théorie de la Terre. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 699-743, pl. 21-24.
- ◆ Tournefort, J. Pitton de. (1702/1720). Description du labyrinthe de Candie, avec quelques observations sur l'accroissement & sur la generation des pierres. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 224-241.
- ◆ Valmont de Bomare, J.C. (1768-1769). *Dictionnaire raisonné universel d'Histoire naturelle*. Yverdon.
- ◆ Voltaire, F.-M. Arouet, dit. (1738/1877). Quatrième discours – De la modération en tout, dans l'étude, dans l'ambition, dans les plaisirs ". In *Œuvres complètes de Voltaire- Nouvelle édition* (Mélanges IX, pp. 401-409). Paris : Garnier frères.
- ◆ Voltaire, F.-M. Arouet, dit. (1746/1830). Dissertations envoyée par l'auteur, en italien, à l'Académie de Bologne, et traduite par lui-même en français, sur les changements arrivés dans notre globe, et sur les pétrifications qu'on prétend encore en être les témoignages. In *Œuvres de Voltaire avec préfaces, avertissements, notes, etc. par M. Beuchot* (Tome XXXVIII, Mélanges - Tome II, pp. 565-581). Paris : Lefèvre.
- ◆ Voltaire, F.-M. Arouet, dit. (1754/1950). *Dictionnaire philosophique*. Paris : Flammarion.
- ◆ Voltaire, F.-M. Arouet, dit. (1768/1879). Des singularités de la nature par un académicien de Londres, de Bologne, de Pétersbourg, de Berlin, etc. *Œuvres complètes de Voltaire- Nouvelle édition* (Mélanges VI, pp.125-157). Paris : Garnier frères.
- ◆ Voltaire, F.-M. Arouet, dit. (1704-1778/1977-1993), *Correspondance*. Paris, Gallimard- Besterman Théodore.
- ◆ Woodward, J. (1735). *Geographie physique : ou, Essay sur l'histoire naturelle de la terre - traduit de l'anglois, de Monsieur Wodward, par M. Noguez ... avec la réponse aux observations de M. le docteur Camerarius ; plusieurs lettres écrites sur la même matière ; & la distribution méthodique des fossiles, traduits de l'anglois, du même M. Wodward, par le R. P. Nicéron*. Paris : Briasson-Barnabite.

XIX^e siècle

- ♦ Agassiz, L. (1838). Sur les ossements fossiles de Stonefield qui avaient été rapportés à des Didelphes. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome 7, Séance du 3 septembre, 537.
- ♦ Archiac, É. J. A. Desmer de Saint-Simon, vicomte de. (1847). Histoire des progrès de la géologie de 1834 à 1845. *Société géologique de France*, Tome 1-8
- ♦ Archiac, É. J. A. Desmer de Saint-Simon, vicomte de. (1866). *Géologie et paléontologie*, Paris : F. Savy.
- ♦ Beaumont, É de. (1850). Sciences Physiques. Grand prix des sciences physiques, question proposée pour 1853. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, 1^{er} semestre, T. XXX, N°9, 257-260.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1836). Sur une tête de Chameau fossile dans un grès des Sous-Hymalaïa. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Séance du 7 novembre, 528-529.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1837a). Sur le Chameau fossile et sur le Sivatherium des Sous-Himalayas méridionaux. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome 4, Séance du 16 janvier, 71-76.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1837b). Observations sur une note lue par M. Geoffroy dans la séance précédente, sur le Chameau et le Sivatherium fossiles dans les Sous-Himalayas méridionaux. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome 4, Séance du 30 janvier, 166-168.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1837c). Recherches sur l'ancienneté des Chéiroptères ou des animaux de la famille des Chauve-Souris. *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome 5, Séance du 11 décembre, 807-822.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1838a). Doutes sur le prétendu Didelphe fossile de Stonefield, ou à quelle Classe, à quelle Famille, à quel genre doit-on rapporter l'animal auquel ont appartenu les ossements fossiles, à Stonefield, désignés sous les noms de Didelphis Prevostii, et Didelphis Bucklandii, par les paléontologistes. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome VII, N°8, 2^e semestre, Séance du 20 août, 402-418.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1838b). Nouveau doute sur le prétendu Didelphe de Stonefield. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome VII, N°17, 2^e semestre, Séance du 22 octobre, 727-736.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1838c). Réclamation de M. de Blainville à l'occasion du Compte rendu de la dernière séance. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome VII, N°17, 2^e semestre, Séance du 29 octobre, 749-751.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1839a) *Ostéographie ou Description iconographique comparée du squelette et du système dentaire des cinq classes d'animaux vertébrés récents et fossiles pour servir de base à la zoologie et à la géologie* (Prospectus, avril 1839, 16p). Paris : Fain & Thunot.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1839-1864). *Ostéographie ou Description iconographique comparée du squelette et du système dentaire des cinq classes des animaux vertébrés, récents et fossiles, pour servir de base à la zoologie et à la géologie*. Paris : J. B. Baillière.
- ♦ Blainville, H. M. Ducrotay de. (1890). *Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire : biographies scientifiques*. Paris : Baillière.
- ♦ Broderip, W. J. (1827). Observations on the Jaw of a Fossil Mammiferous animal, found in the Stonefield slate. *Transactions of the zoological society of London*, Vol. 3, art. 42, 408-412 & pl. 11.
- ♦ Brongniart, Ad. (1857). Rapport sur le grand prix des Sciences Physiques pour l'année 1856. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, T. XLIV, N°6, 1^{er} semestre, 209-228.

- ♦ Bronn, H.-G. (1856 ?). Essai d'une réponse à la question de prix proposée en 1850 par l'Académie des sciences pour le concours de 1853, et puis remise pour celui de 1856. *Suppléments aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Tome II*, 377-918.
- ♦ Buckland, W. (1824). Notice on the Megalosaurus or great Fossil Lizard of Stonesfield. *Transactions of the Geological Society, second series, vol. I*, 390-396.
- ♦ Burat, A. (1837-1838). Paléontologie. In F.- É. Guérin (dir.), *Dictionnaire pittoresque d'histoire naturelle et des phénomènes de la nature 1834-1839* (Tome 6, pp.613-630). Paris : Bureau de souscription.
- ♦ Collectif (1860). *The Athenaeum journal of literature, science, and the fine arts, july to december, n° 1707*, july 14.
- ♦ Comte, A. (1838/1908). Quarante et unième leçon. Considérations générales sur la philosophie anatomique. In *Cours de philosophie positive, Tome 3- La philosophie chimique et la philosophie biologique* (pp. 257-282). Paris : Schleicher Frères.
- ♦ Cuvier, G. (1825 3^eédition/1985). *Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changemens qu'elles ont produits dans le règne animal*. Angleterre : Christian Bourgois.
- ♦ Cuvier, G. (1832). Éloge de M. de Lamarck. In P. Corsi (dir.) www.lamarck.net.
- ♦ Cuvier, G. (1834-1836 4^e édition). *Recherches sur les ossements fossiles où l'on rétablit les caractères de plusieurs animaux dont les révolutions du globe ont détruit les espèces* (10 vol.). Paris : Edmont d'Ocagne.
- ♦ Cuvier, G. (1834/1999). *Recherches sur les ossements fossiles Tome 1. Discours préliminaires-Anatomie des catastrophes*. Clermont-Ferrand : éditions Paleo.
- ♦ Dareste, ? (1858). Guettard (Jean-Étienne). In D^r Hoefer (dir.), *Nouvelle biographie générale depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours* (Tome 22, pp. 472-477). Paris : Firmin Didot Frères.
- ♦ Darwin, C. (1859/1982). *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la lutte pour l'existence dans la nature* (2 tomes). Paris, Jean de Bonnot.
- ♦ Duméril, C. (1838). Remarques de M. Duméril à l'occasion du Mémoire de M. de Blainville. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences, Tome VII, N°17, 2^e semestre*, Séance du 22 octobre, 736.
- ♦ Flourens, P. (1853). Éloge historique d'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire lu dans la séance publique annuelle du 22 mars 1852. *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France, tome XXIII, 2^e série*, I-LXXI.
- ♦ Flourens, P. (1860). Éloge historique de M. Marie-Henri Ducrotay de Blainville lu dans la séance publique annuelle du lundi 30 janvier 1854. *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut impérial de France, tome XXVII, 2e série, 2e partie*, I-LX.
- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1802/2000). *L'expédition d'Égypte 1798-1802*. Clermont-Ferrand : éditions Paleo.
- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1824). Sur une nouvelle détermination de quelques pièces mobiles chez la Carpe, ayant été considérées comme les parties analogues des osselets de l'oreille ; et sur la nécessité de conserver le nom de ces osselets aux pièces de l'opercule. *Mémoires du Muséum d'Histoire naturelle, tome 11*, 143-160
- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1828). Mémoire Où l'on se propose de rechercher dans quels rapports de structure organique et de parenté sont entre eux les animaux des âges historiques, et vivant actuellement, et les espèces antédiluviennes et perdues. *Mémoires du Muséum d'Histoire naturelle, tome 17*, 209-229.

- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1837a). Sur le nouveau genre *Sivatherium*, trouvé fossile au bas du versant méridional de l'Himalaya, dans la vallée du Markanda ; animal gigantesque de l'ancien Monde que je propose de rapporter au genre *Camelopardalis*. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Séance du 9 janvier, 53-60.
- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1837b). Du *Sivatherium* de l'Himalaya, comme offrant un cas analogue de terrain et de degré d'organisation à l'éléphant *mammoth*, et comme contribuant à l'enseignement des causes incessantes et graduelles modifiant les formes animales dans les âges de la terre. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Séance du 16 janvier, 77-82.
- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1837c). Encore cet écrit sur le *Sivatherium*, considéré sous le point de vue de ses révélations contestées relativement à la Philosophie zoologique. In *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Séance du 23 janvier, 113-122.
- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1837d). De la Théorie des analogues, source de conceptions synthétiques d'un haut enseignement en histoire naturelle. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Séance du 10 avril, 537-546.
- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. (1838). De quelques contemporains des Crocodiliens fossiles des âges antédiluviens, d'un rang CLASSIQUE, jusque alors indéterminé. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Séance du 24 septembre, 629-633.

- ♦ Geoffroy Saint-Hilaire, É. & Serres, M. de. (1828). Rapport fait à l'Académie royale des Sciences, sur un mémoire de M. Roulin : Sur quelques changements observés sur les Animaux domestiques transportés de l'ancien monde dans le nouveau continent. *Mémoires du Muséum d'Histoire naturelle*, tome 17, 201-208.

- ♦ Gervais, P. (1837-38). Ornithorynque. In F.-E. Guérin (dir.), *Dictionnaire pittoresque d'histoire naturelle et des phénomènes de la nature 1834-1839* (Tome 6, pp. 435-439). Paris : Bureau de souscription.

- ♦ Hoefer. (1855). Agassiz (Louis). In *Nouvelle biographie générale depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours* (Tome 1, pp. 362-363). Paris : Firmin Didot Frères Dictionnaire.
- ♦ Hoefer. (1855). Blainville (Henri-Marie Ducrotay de). In *Nouvelle biographie générale depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours* (Tome 6, pp. 171-174). Paris : Firmin Didot Frères Dictionnaire.
- ♦ Hoefer. (1857). Geoffroy Saint-Hilaire (Étienne). In *Nouvelle biographie générale depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours* (Tome 20, pp. 41-54). Paris : Firmin Didot Frères Dictionnaire.

- ♦ Huot, J. (1835). Époques géologiques et « fossile ». In F.-E. Guérin (dir.), *Dictionnaire pittoresque d'histoire naturelle et des phénomènes de la nature 1834-1839* (Tome 3, pp. 88-90). Paris : Bureau de souscription.
- ♦ Huot, J. (1835). Fossile. In F.-E. Guérin (dir.), *Dictionnaire pittoresque d'histoire naturelle et des phénomènes de la nature 1834-1839* (Tome 3, p.256). Paris : Bureau de souscription.

- ♦ Jéhan, L-F., de Clavien. (1854). *Dictionnaire de cosmogonie et de paléontologie. Examen critique des systèmes anciens et modernes sur l'origine du monde, vues sur la création de la terre et des corps célestes et appréciations des théories cosmogonico-bibliques, description stratigraphique, géographique, zoologique et chronologique des terrains fossilifères et de leurs étages*. Paris : J-P. Migne.

- ♦ Lamarck, J.- B. de Monet de. (1801). *Système des Animaux sans vertèbres ou tableau général des classes, des genres et des ordres de ces animaux ; présentant leurs caractères essentiels et leur distribution d'après la considération de leurs rapports naturels et de leur organisation, et suivant l'arrangement établi dans les galeries du Museum d'histoire naturelle parmi leurs dépouilles conservées ; Précédé du discours d'ouverture du Cours de Zoologie, donné dans le Muséum National d'Histoire Naturelle l'an 8 de la République*. Paris : Déterville.
- ♦ Lamarck, J.- B. de Monet de. (1802a). *Hydrogéologie, ou Recherches sur l'influence qu'ont les eaux sur la surface du globe terrestre ; sur les causes de l'existence du bassin des mers, de son*

déplacement et de son transport successif sur les différens points de la surface du globe ; enfin sur les changemens que les corps vivans exercent sur la nature et l'état de cette surface (In P. Corsi (dir.) www.lamarck.net). Paris : Agasse et Maillard.

♦ Lamarck, J.- B. de Monet de. (1802b/1986). *Recherches sur l'organisation des corps vivans et particulièrement sur son origine, sur la cause de son développement et des progrès de sa composition, et celle qui tendent continuellement à la détruire dans chaque individu, amène nécessairement à sa mort* ; Précédé du Discours d'ouverture du cours de Zoologie, donné dans le Muséum d'Histoire Naturelle. Paris : Fayard.

♦ Lamarck, J.- B. de Monet de. (1802-1806). Mémoires sur les Fossiles des environs de Paris, comprenant la détermination des espèces qui appartiennent aux animaux marins sans vertèbres dont la plupart sont figurés dans la collection des velins du Muséum. *Annales du Muséum national d'Histoire naturelle*, t. 1-8, Paris : Levraut.

♦ Lamarck, J.- B. de Monet de. (1809/1994). *Philosophie zoologique*. Paris : Flammarion.

♦ Lamarck, J.- B. de Monet de. (1815-1822). *Histoire des animaux sans vertèbres* (Tome 1, In P. Corsi (dir.) www.lamarck.net). Paris : Verdière.

♦ Laurillard, C. (1834). Éloge de M. le Baron Cuvier - Discours couronné par l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Besançon, dans sa séance du 24 août 1833- . In G. Cuvier, *Recherches sur les ossemens fossiles* (pp. 2-78). Paris, Edmont d'Ocagne.

♦ Lyell, C. (1835). *Principles of Geology : being an inquiry how far the former changes of the earth's surface are referable to causes now in operation* (4 vol. Vol. 1, 4^e édition). London : John Murray.

♦ Lyell, C. (1843-1848) *Principes de géologie ou illustrations de cette science empruntées aux changemens moderne que la Terre et ses Habitants ont subis* (4 vol., traduction à partir de la 6^{ème} édition anglaise de 1840 par T. Meulien pour le vol.1). Paris : Langlois & Leclercq.

♦ Maindron, E. (1881). *Les Fondations de prix à l'Académie des sciences. Les lauréats de l'Académie 1714-1880*. Paris : Gauthier-Villars.

♦ Orbigny, A. d'. (1849-1852). *Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie Stratigraphiques* (Vol. I et II). Paris : Masson.

♦ Owen, R. (1838a). On the Jaws of the Thylacotherium Prevostii (Valenciennes) from Stonesfield-Nov. 21. *Proceedings of the geological society of London*, vol. 3, 5-9

♦ Owen, R. (1838b). Description of the Remains of Marsupial Mammalia from the Stonesfield slate-Dec. 19. *Proceedings of the geological society of London*, vol. 3, 17-23

♦ Owen, R. (1838c). On the Stonesfield Fossil Remains- Dec. 19. *The Athenaeum journal of literature, science, and the fine arts*, 931-932.

♦ Pachon, Abbé. (1850). *Origine des fossiles et des continents ou Nouvelle théorie de la terre*, Paris : Pillot fils aîné.

♦ Prévost, C. (1825). Observations sur les Schistes calcaires Oolithiques de Stonesfield en Angleterre, dans lesquels ont été trouvés plusieurs ossemens fossiles de Mammifères. *Annales des Sciences naturelles*, tome 4, 389-417 et pl.17-18.

♦ Prévost, C. (1827/1828). Les continens actuels ont-ils été, à plusieurs reprises, submergés par la mer ? : dissertation géologique. [s.l. s.n.]. *Mémoires de la Société d'Histoire naturelle de Paris*, tome 4, 249-346.

♦ Prévost, C. (1844/1867). Fossile. In C. d'Orbigny (dir), *Dictionnaire universel d'histoire naturelle servant de complément aux œuvres de Buffon, de G. Cuvier, aux encyclopédies, aux anciens dictionnaires scientifiques et résumant les traités spéciaux sur les diverses branches des sciences naturelles, etc* (Tome 5, pp. 682-685/Tome 6, pp. 169-172). Paris : bureau principal de l'éditeur.

♦ Serres, M. de. (1846). *Nouveau manuel complet de paléontologie ou des lois de l'organisation des êtres vivants comparées à celles qu'ont suivies les espèces fossiles et humaines dans leur apparition successive*. Paris : De Roret.

♦ Valenciennes, A. (1838). Observations sur les mâchoires fossiles des couches oolithiques de Stonesfield nommées *Didelphis Prevostii* et *Didelphis Bucklandii*. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Tome VII, N°11, 2^e semestre, Séance du 10 septembre, 572-580.

Références bibliographiques

♦ Alcayde, G. (1975). Carte géologique N°486 Chinon 1/50 000 XVII-23, *Service de la Carte Géologique de la France*. Orléans : Ministère de l'industrie et de la recherche BRGM.

♦ Alcayde, G. (1977). Carte géologique N°514 Sainte-Maure-de-Touraine 1/50 000 XVIII-24, *Service de la Carte Géologique de la France*. Orléans : Ministère de l'industrie et de la recherche BRGM.

♦ Alcayde, G. & al. (1990). *Guide géologique régional. Val de Loire. Anjou, Touraine, Orléanais, Berry*. Paris-Milan-Barcelone-Mexico : Masson.

♦ Appel, T. A. (1976). Valenciennes, Achille. In C.C. Gillispie & F.L. Holmes (Ed.), *Dictionary of scientific biography* (vol. 13, pp. 554-555). New-York : C. Scribners's sons.

♦ Babin, C. (1971). *Éléments de paléontologie*. Paris : Armand Colin.

♦ Bignot, G. (1988). Les ostracodes. In *Micropaléontologie : les différents groupes de microfossiles, exploitation paléobiologique et géologique* (pp. 43-54). Paris : Bordas.

♦ Bignot, G. (1995). Le déplacement des coquillages fossiles selon Jacques-Tranquillain Féret, apothicaire dieppois du milieu du XVIII^e siècle. In F. Ellenberger & J. Gaudant (dir.) *Essais sur l'histoire de la géologie : Hommage à E. Wegmann, Mémoires de la Société Géologique de France*, n° 168, 59-63.

♦ Bouillet G. (1986). De la génération équivoque des pierres et des fossiles d'après les textes anciens (grecs, latins et chinois). *Travaux du comité français d'histoire de la géologie, deuxième série, Tome IV, N°5*, 33-46.

♦ Bouillet G. & Gaudant J. (2000). La genèse et l'interprétation des «fossiles» dans la science classique : de la Renaissance aux Lumières. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 171(5), 587-601.

♦ Bourdier, F. (1959). Quelques aperçus sur la paléontologie évolutive en France avant Darwin. *Bulletin de la Société Géologique de France*, série 7, I, 881-896.

♦ Bourdier, F. (1960). Trois siècles d'hypothèses sur l'origine et la transformation des êtres vivants (1550-1859). *Revue d'histoire des Sciences*, Tome XIII, 1-44.

♦ Bourdier, F. (1967). La lutte de Geoffroy Saint-Hilaire contre Cuvier en faveur de l'évolution paléontologique (1825-1838). In *New Hampshire Inter-Disciplinarity Conference on the History of Geology*. Paris : Institut de France.

♦ Bourdier, F. (1972). Geoffroy Saint-Hilaire. In C.C. Gillispie & F.L. Holmes (Ed.), *Dictionary of scientific biography* (vol. 5, pp. 355-358). New-York : C. Scribners's sons..

♦ Bourdier, F. (1978). Duméril, André-Marie-Constant. In C.C. Gillispie & F.L. Holmes (Ed.), *Dictionary of scientific biography* (vol. 15 supplément I, pp. 126-127). New-York : C. Scribners's sons.

♦ Broc, N. (1989). Guettard (Jean-Étienne). In M. Prévost, Roman d'Amat & H. Tribout de Morembea (dir.), *Dictionnaire de biographie française* (Tome 17, pp. 19-21), Paris : Letouzey et Ané.

- ♦ Buffetaut, É. & Taquet, P. (1975). Les vertébrés du Crétacé et la dérive du continent. *La Recherche*, N° 55, 379-381.
- ♦ Buffetaut, É. (1998). *Histoire de la paléontologie*. Paris : P.U.F.
- ♦ Buffetaut, É. (2000). Cuvier le découvreur des mondes disparus. *Pour la Science* n°5 Les génies de la science.
- ♦ Cailleux, A. & Chavan, A. (1972). *Détermination pratique des fossiles*. Paris : Masson.
- ♦ Cantor-Coquidé, M. (1993). *Pouchet savant et vulgarisateur - Musée et fécondité*. Nice : Z'éditions.
- ♦ Cap P.-A. (1961). *Œuvres complètes de Bernard Palissy, édition conforme aux textes originaux imprimés du vivant de l'auteur ; avec des notes et une notice historique, préface par M. J. Orcell, professeur de minéralogie au Muséum National d'Histoire Naturelle*. Paris : Albert Blanchard.
- ♦ Carozzi, M. (1979). Les pèlerins et les fossiles de Voltaire. *Gesnerus*, Vol. 36, fascicule 1, 82-97.
- ♦ Carozzi M. (1983). Voltaire's attitude toward geology. *Archives des sciences et comptes rendus des séances de la société*, vol.36, fascicule 1.
- ♦ Celet, P. (1975). Carte géologique N°529 Quingey 1/50 000 XXXIII-24. *Service de la Carte Géologique de la France*. Orléans : Ministère de l'industrie et de la recherche BRGM
- ♦ Chaline, J. (2006). *Quoi de neuf depuis Darwin ? La théorie de l'évolution des espèces dans tous ses états*. Paris : Ellipses.
- ♦ Chaumeton, H. & Magnan, D. (1985). *Les fossiles*. Paris : Solar.
- ♦ Cohen, C. (1997). Owen Richard, 1804-1892. In M. Ambrière (dir.), *Dictionnaire du XIX^e siècle européen* (p. 865). Paris : PUF.
- ♦ Cohen, C. (2002). Une passion nécessaire : l'histoire des sciences. *La Recherche*, n°356, 33-37
- ♦ Cohen, C. (2004). *Le destin du mammoth*. Paris : Éditions du Seuil.
- ♦ Coleman, W. (1970). Blainville, Henri Marie Ducrotay de. In C.C. Gillispie & F.L. Holmes (Ed.), *Dictionary of scientific biography* (vol. 2, pp. 186-188). New-York : C. Scribners's sons.
- ♦ Costabel P. (1986). Jean-Baptiste Du Hamel (1623-1706) Premier secrétaire de l'Académie royale des sciences. In P. Costabel & M. Martinet (dir.), *Quelques savants et amateurs de science au XVII^e siècle : sept notices bibliographiques caractéristiques* (pp. 57-65). Paris : Société française d'histoire des sciences et des techniques.
- ♦ Denys, C. (2002). La fossilisation : une exception conjoncturelle. *Pour la Science*, n°292, 74-81.
- ♦ Ellenberger, F. (1986). Brève évocation de Jean-Étienne Guettard (1715-1786), à l'occasion du bicentaire de sa mort. *Travaux du comité français d'histoire de la géologie, Deuxième série, tome IV, n°11*, 85-90.
- ♦ Ellenberger, F. (1988 et 1994). *Histoire de la géologie. Tome 1 et 2*. Paris : Technique & Documentation-Lavoisier.
- ♦ Ellenberger, F. (1989). La première coupe historique du stratotype d'Étampes dressée par Lavoisier en 1767. *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie, 3^e série, tome III*, 7-20.
- ♦ Ellenberger, F. & Gohau, G. (1981). A l'aurore de la stratigraphie paléontologique : Jean-André De Luc, son influence sur Cuvier. *Revue d'Histoire des sciences, Tome XXXIV, N°3-4*, 217-257.
- ♦ Ellenberger, F. & Gaudant, J. (dir.). (1995). *Essais sur l'histoire de la géologie : Hommage à E. Wegmann, Mémoires de la Société Géologique de France, n° 168*. Paris : Société géologique de France.

- ♦ Fallot, E. (1911). Voltaire et la géologie. *Mémoires de la société d'émulation de Montbéliard*, Vol. XL, 215-224.
- ♦ Fischer, J.-C. (2000). *Guide des fossiles de France et des régions limitrophes*. Paris : Dunod.
- ♦ Fischer, J.-C. & Vénec-Peyré, M.-T. (2002). Le « créationnisme » d' Alcide d'Orbigny et les fondements de la théorie biostratigraphique. *Comptes Rendus Palévol*, Tome 1 n°6, 359-364.
- ♦ Fischer, J.-C. & Lauriat-Rage, A. (2002). Les voyages biostratigraphiques d'Alcide d'Orbigny en France et dans les régions limitrophes. *Comptes Rendus Palévol*, Tome 1, n°7, 549-554.
- ♦ Foucault, A. & Raoult, J.-F. (2005). *Dictionnaire de géologie*. Paris : Dunod.
- ♦ Furon, R. (1951). *La paléontologie. La science des fossiles, son histoire, ses enseignements, ses curiosités*. Paris : Payot.
- ♦ Gaudant, J. (1982). Actualisme, antiprogressionisme, catastrophisme et créationisme dans l'œuvre d'Alcide d'Orbigny (1802-1857). *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, N°46
- ♦ Gaudant, J. (1999). Fossile. In D. Lecourt (Dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (pp. 429-434). Paris : Puf.
- ♦ Gaudant, J. (2004). Guillaume-François Rouelle (1703-1770), précurseur d'un enseignement géologique en France. *Comptes Rendus Palevol* 3, 85-98.
- ♦ Gayrard-Valy, Y. & Thomas, H. (2000). *Les fossiles, empreinte des mondes disparus*. Italie : Gallimard.
- ♦ Gohau G. (1979). L'unité de création chez Blainville. *Revue d'histoire des sciences*, Tome XXXII, 43-58.
- ♦ Gohau, G. (1983). *Idées anciennes sur la formation des montagnes. Préhistoire de la tectonique*. Thèse dir. F. Dagognet : Université Lyon III.
- ♦ Gohau G. (1981). La naissance de la géologie historique : les « Archives de la Nature ». *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, 2^e série, tome IV, N°7, 57-65.
- ♦ Gohau, G. (1990a). *Une histoire de la géologie*. Paris : Editions La Découverte-Point Sciences.
- ♦ Gohau, G. (1990b). *Les sciences de la Terre au 17^e et 18^e siècles. Naissance de la géologie*. Paris : Albin Michel.
- ♦ Gohau, G. (1995a). Constant Prévost (1787-1856), géologue critique. In F. Ellenberger & François et J. GAUDANT (dir.), *Essais sur l'histoire de la géologie : Hommage à E. Wegmann, Mémoires de la Société Géologique de France*, (n° 168, pp.77-82). Paris : Société géologique de France.
- ♦ Gohau, G. (2000a). Causalité et expérience. De la preuve négative. In G. Rumelhard (dir.), *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre* (pp. 23-41). Paris : INRP.
- ♦ Gohau, G. (2000b). Causalité et expérience. L'ordre et le chaos. In G. Rumelhard (dir.), *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre* (pp. 163-166). Paris : INRP.
- ♦ Gohau, G. (2002a). Aux commencements de la stratigraphie. *Comptes Rendus Palévol*, Tome 1, n°6, 325-333.
- ♦ Gohau, G. (2003a). *Naissance de la géologie historique. La Terre, des « théories » à l'histoire*. Paris : Vuibert-Adapt.
- ♦ Gohau, G. (2003b). Actualisme ou uniformitarisme. In D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (pp. 18-21). Paris : Quadrige-Puf.
- ♦ Gohau, G. (2004). De Stahl à Dolomieu : la notion de molécule intégrante. *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, t.XVIII, n°4, 79-91.
- ♦ Gould, S. J. (1990). *Aux racines du temps*. Paris : Grasset.
- ♦ Gould, S. J. (1991). *La vie est belle. Les surprises de l'évolution*. Paris : Seuil.
- ♦ Gould, S. J. (1997a). *Darwin et les grandes énigmes de la vie*. Lonrai : Éditions du Seuil.

- ♦ Gould, S. J. (1997b). *L'éventail du vivant. Le mythe du progrès*. Paris : Seuil.
- ♦ Gould, S. J. (2001). *Les coquillages de Léonard*. Paris : Seuil.
- ♦ Gould, S. J. & Stengers, I. (1996). La paléontologie une fiction des origines In *Qu'est-ce qu'on ne sait pas ? Rencontres philosophiques de l'UNESCO, 14-17 mars 1995* (pp. 62-65). Paris : Découvertes Gallimard/UNESCO.
- ♦ Gouyon, P.-H. (1998). Le finalisme revisité. In Le Guyader, H. (dir.), *L'évolution* (pp. 105-111). Paris : Bibliothèque Pour la Science.
- ♦ Grassé, P.-P. & Doumenc, D. (1998). *Zoologie Invertébrés* (6^e édition). Paris : Masson.
- ♦ Hirai, H. (2003). Le concept de semence de Pierre Gassendi entre les théories de la matière et les sciences de la vie au XVII^e siècle. *Journal of History of Medicine*, 205-226.
- ♦ Hirai, H. (2005). *Le concept de semence dans les théories de la matière à la Renaissance. De Marsile Ficin à Pierre Gassendi*. Belgique : Brepols.
- ♦ Hölder, H. (1998). Préface. In G. Gohau (dir.), *De la géologie à son histoire. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques* (en hommage à François Ellenberger, pp. 9-13). Dijon-Quetigny : Darantière.
- ♦ Hooykaas, R. (1970). *Continuité et discontinuité en géologie et en biologie*. Paris : Seuil.
- ♦ Lalis, A. & Pédersen C. (2007). Dodo...quelle histoire ! *TDC, n°946 L'évolution des espèces*, 25-26.
- ♦ Latour, B. (1989). Pasteur et Pouchet : hétérogenèse de l'histoire des sciences. In M. Serres (dir.), *Éléments d'histoire des sciences* (pp. 423-445). Paris : Bordas.
- ♦ Laurent, G. (1987). *Paléontologie et évolution en France de 1800 à 1860. Une histoire des idées de Cuvier et Lamarck à Darwin*. Paris : Comité de travaux historiques et scientifiques.
- ♦ Laurent, G. (1997a). Pour une histoire des sciences à part entière. In J. Rosmorduc (dir.), *Histoire des sciences et des techniques – Actes du colloque de Morgat du 20 au 24 mai 1996* (pp. 9-37). Bretagne : CRDP.
- ♦ Laurent, G. (1997b). Paléontologie et évolution. In G. Gohau (dir.), *De la géologie à son histoire. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques* (pp. 175-188). Dijon-Quetigny : Darantière.
- ♦ Laurent, G. (1997c). Analogie en biologie. In M. Ambrière (dir.), *Dictionnaire du XIX^e siècle européen* (pp. 37-40). Paris : PUF.
- ♦ Laurent, G. (2002a). Alcide d'Orbigny entre Cuvier et Lamarck. *Comptes Rendus Palévol, Tome 1, n°6*, 347-358.
- ♦ Laurent, G. (2002b). Jean-Guillaume Bruguière (1750-1798), et les débuts de la paléontologie des invertébrés. *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie (Cofrhigéo), 3^{ème} série, t.XVI, N°2*, 37-46.
- ♦ Laurent, G. (2006). Paléontologie et évolution : la Société géologique de France, « espace de liberté » (1830-1860). *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie, troisième série, Tome XX, N°1*, 1-11.
- ♦ Lauriat-Rage A. (2002). La collection d'Invertébrés fossiles d'Alcide d'Orbigny et la salle d'Orbigny. *Comptes Rendus Palévol, Tome 1, n°7*, 615-627.
- ♦ Le Guyader, H. (2000). Le concept de plan d'organisation : quelques aspects de son histoire. *Revue d'Histoire des Sciences*, 53/ 3-4, 339-379.
- ♦ Lecointre G. & Le Guyader H. (2001). *Classification phylogénétique du vivant*. Paris : Belin.

- ♦ Lecornu-Lehman, C. (2006). *Gabriel-François Venel (1723-1775). Sa place dans la chimie française du XVIII^e siècle*. Thèse dir. B. Bensaude-Vincent : Université Paris X.
- ♦ Lehman, C. (2007). Le cours de chimie de Guillaume-François Rouelle. inrp.fr/she/cours_magistral/index.htm.
- ♦ Lehman, C. (à paraître 2010). Cours de chimie de Gabriel-François Venel chez l'apothicaire Jacques Montet à Montpellier -1761-Quarante septième leçon - Ms 4914- Wellcome library. In *Corpus des œuvres de philosophie en langue française*. Université Paris X
- ♦ Limouzin-Lamothe. (1970). Du Hamel (Jean-Baptiste). In Roman d'Amat (dir.), *Dictionnaire de biographie française* (Tome 12, pp. 15-16). Paris : Letouzey et Ané.
- ♦ Lurie, E. (1970). Agassiz, Jean Louis Rodolphe. In C.C. Gillispie & F.L. Holmes (Ed.), *Dictionary of scientific biography* (vol. 1, pp. 72-74). New-York : Charles scribners's sons.
- ♦ Métivier, B. (2002). Alcide d'Orbigny, malacologiste. In P. Taquet (dir.), *Un voyageur naturaliste Alcide d'orbigny. Du nouveau monde ... au passé du monde* (pp. 29-34). Paris : Nathan et Muséum national d'histoire naturelle.
- ♦ Nicolle J. (1966). *Bernard Palissy, l'homme à la recherche d'un secret*. Paris : Seghers.
- ♦ Picq, P. (2005). *Les origines de l'homme. L'odyssée de l'espèce*. Tours : Éditions Tallandier.
- ♦ Picq, P. (2006). Le point de vue du paléontologue : quand peut-on parler d'homme ? In *Les sciences de la vie et de la Terre au XXI^e siècle : enjeux et implications* (pp. 61-64). MENESR : CRDP de l'académie de Versailles.
- ♦ Piveteau, J. (1950). Le débat entre Cuvier et Geoffroy saint-Hilaire sur l'unité de plan et de composition. *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, Tome III, N°2, 343-363.
- ♦ Piveteau, J. (1965). *Traité de paléontologie*. Paris : Masson.
- ♦ Piveteau, J. (1985). Paléontologie. In *Encyclopédia universalis* (corpus 13, pp. 950-957). Paris.
- ♦ Plaziat, J.-C. (1997). L'importance des coquilles fossiles du tertiaire parisien dans l'œuvre scientifique et artistique de Bernard Palissy, à la fin du seizième siècle. In G. Gohau (dir.), *De la géologie à son histoire. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques* (pp. 15-24). Dijon-Quetigny : Darantière.
- ♦ Rappaport, R. (1967). The Geological Atlas of Guettard, Lavoisier, and Monnet : Conflicting Views of the Nature of Geology. In C. J. Schneer (Ed), *Toward a History of Geology* (proceedings of the New Hampshire Inter-Disciplinary Conference on September 7-12, pp. 272-287). Cambridge :mass. M.I.T. Press.
- ♦ Rappaport, R. (1972). Guettard, Jean-Etienne. In C.C. Gillispie & F.L. Holmes (Ed.), *Dictionary of Scientific Biography* (Vol.5, pp. 577-579). New-York : C. Scribners's sons.
- ♦ Raynaud, D. (2003). *Sociologie des controverses scientifiques*. Paris : PUF.
- ♦ Ricqlès, A. de. (1998). Les fossiles vivants n'existent pas. In Le Guyader, H. (dir.), *L'évolution* (pp. 105-111). Paris : Bibliothèque Pour la Science.
- ♦ Ricqlès, A. de. (2006). Préface. In *Lamarck, philosophe de la nature* (pp. VII-XII). Paris, Presses Universitaires de France.
- ♦ Roger, J. (1962). *Buffon -Les époques de la nature -Edition critique*. Université de Paris : Mémoires du muséum national d'histoire naturelle
- ♦ Roger, J. (1995a). *Pour une histoire des sciences à part entière*. Paris : Albin Michel.
- ♦ Roger, J. (1995b). La place de Buffon dans l'histoire des sciences de la Terre. In F. Ellenberger & J. Gaudant (dir.), *Essais sur l'histoire de la géologie : Hommage à E. Wegmann, Mémoires de la Société Géologique de France* (n° 168, pp. 55-58). Paris : Société géologique de France.

- ♦ Rudwick, M., J.S. (1985). *The meaning of fossils. Episodes in the History of Palaeontology*, Chicago & London : The University of Chicago Press.
- ♦ Rudwick, M., J.S. (1995). Les sociétés géologiques de Londres et de Paris en 1835 et la vie géologique contemporaine. In F. Ellenberger & J. Gaudant (dir.), *Essais sur l'histoire de la géologie : Hommage à E. Wegmann, Mémoires de la Société Géologique de France* (n° 168, pp. 71-75). Paris : Société géologique de France.
- ♦ Rudwick, M., J.S. (1997). Smith, Cuvier et Brongniart, et la reconstitution de la géohistoire. In G. Gohau (dir.), *De la géologie à son histoire. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques* (pp. 119-128). Dijon-Quetigny : Darantière.
- ♦ Salomon-Bayet, C. (1978). *L'institution de la science et l'expérience du vivant*, Paris : Flammarion.
- ♦ Sarjeant, W., A.S. & Mitchell, T. A. (2001). A forgotten theory on the origin of fossils : Daine Barrington's concept (1781). *Archives of natural history, The Society for the History of Natural History*, vol 28 (1), 123-133
- ♦ Schaff, A. (2006). La Terre, planète du vivant. In J.-Y. Daniel (dir.), *Sciences de la Terre et de l'univers* (pp. 633-730). Paris : Vuibert.
- ♦ Selosse, M.-A. & Tully, T. (novembre 2008). Ecologie et évolution. In *Colloque Enseigner l'évolution MEN : Direction générale de l'enseignement scolaire*
- ♦ Steinberg M. & al. (juin 2000). Refondation de la géologie ou retour du déluge. *Lettre semestrielle-Société Géologique de France*, 27-28.
- ♦ Taquet, P. (1984). Cuvier-Buckland-Mantell et les dinosaures. *Actes du symposium paléontologique-Georges Cuvier-Montbéliard-France-1982*, 475-494
- ♦ Taquet, P. (1994/2001). *L'empreinte des dinosaures. Carnets de pistes d'un chercheur d'os*, Paris : Éditions Odile Jacob.
- ♦ Taquet, P. (2001). Georges Cuvier et l'enseignement des sciences en France. In N. Hulin (dir.), *Études sur l'histoire de l'enseignement des sciences physiques et naturelles* (pp. 31-48 & pp.197-207). Paris : ENS Éd.
- ♦ Taquet, P. (dir.). (2002). *Un voyageur naturaliste Alcide d'orbigny. Du nouveau monde ... au passé du monde*. Paris : Nathan et Muséum national d'histoire naturelle.
- ♦ Taquet, P. (2003). Quand les Reptiles marins anglais traversaient la Manche : Mary Anning et Georges Cuvier, deux acteurs de la découverte et de l'étude des Ichthyosaures et des Plésiosaures. *Annales de paléontologie, janvier 2003, Vol 89 issue 1*, 37-64.
- ♦ Taquet, P. (2006a). *Georges Cuvier. Naissance d'un génie*. Paris : Odile Jacob.
- ♦ Taquet, P. (2006b). Le point de vue du paléontologue : les extinctions dans le passé. In *Les sciences de la vie et de la Terre au XXI^e siècle : enjeux et implications* (pp. 125-128). MENESR : CRDP de l'académie de Versailles.
- ♦ Tassy, P. (1991). *L'arbre à remonter le temps*. Paris : C. Bourgeois.
- ♦ Tassy, P. (1992). *Le message des fossiles*. Paris : Hachette.
- ♦ Tassy, P. (1997). Blainville Henri Ducrotay de, 1777-1850. In M. Ambrière (dir.), *Dictionnaire du XIX^e siècle européen* (p. 158). Paris, PUF.
- ♦ Tassy, P. (1997b). Créationnisme en paléontologie. In M. Ambrière (dir.), *Dictionnaire du XIX^e siècle européen* (pp. 290-291). Paris, PUF.
- ♦ Tassy, P. & Cohen C. (1997). Agassiz Louis, 1807-1873. In M. Ambrière (dir.), *Dictionnaire du XIX^e siècle européen* (pp. 8-9). Paris, PUF.
- ♦ Tétry, A. (1980). Geoffroy Saint-Hilaire (Étienne). In Prévost & Roman d'Amat (dir.), *Dictionnaire de biographie française* (pp. 1154-1155). Paris : Letouzet et Ané.

- ♦ Tintant, H. (1992). Evolution et progrès. La question du sens. *Revue des questions scientifiques*, Tome 163, n°2, 119-146.
- ♦ Tintant, H. (1997). Alcide d'Orbigny (1802-1857) ou la progression des faunes. In G. Gohau (dir.), *De la géologie à son histoire. Comité des Travaux Historiques et Scientifiques* (pp. 163-174). Dijon-Quetigny : Darantière.
- ♦ Tirard, S. (1996). *Les travaux sur l'origine de la vie de la fin du XIX^e siècle jusqu'aux années 1970*. Thèse dir. M. Morange : Université Paris7.
- ♦ Tirard, S. (2006). Générations spontanées. In *Lamarck, philosophe de la nature* (pp. 65-104). Paris : Presses Universitaires de France.
- ♦ Vénec-Peyré, M.-T. (2002). Alcide d'Orbigny (1802-1857) : sa vie et son œuvre. *Comptes Rendus Palévol*, Tome 1, n°6, 313-323.
- ♦ Wilson, L. G. (1973). Lyell, Charles. In C.C. Gillispie & F.L. Holmes (Ed.), *Dictionary of scientific biography* (vol. 8, pp. 563-576). New-York : C. Scribner's sons.
- ♦ Yahya, H. (2007). *L'Atlas de la création - Les fossiles réfutent la théorie de l'évolution*. Istanbul : Éditions Global
- ♦ [http : //transtyfipal.u-bourgogne.fr](http://transtyfipal.u-bourgogne.fr)

2 Didactique des sciences, didactique de la géologie et de la paléontologie

- ♦ Aroua, S. (2006). *Dispositif didactique pour l'enseignement de l'évolution du vivant. Débat en classe pour l'enseignement de la théorie de l'évolution en Tunisie*. Thèse dir. M. Coquidé : ENS Cachan –ISEFC Tunis.
- ♦ Astolfi J.-P. & Develay, M. (1989 / 1998). *La didactique des sciences*. Paris : PUF.
- ♦ Astolfi, J.-P. (1991). Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences : l'exemple de la géologie à l'école élémentaire. *Aster*, 13, 157-186.
- ♦ Astolfi, J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue française de pédagogie*, n°103, 5-18
- ♦ Astolfi, J.-P. & Demounem, R. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la terre*. Paris : Nathan.
- ♦ Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (1997). *Mots clés de la didactique des sciences, repères, définitions, bibliographies*. Paris-Bruxelles : De Boeck et Larcier
- ♦ Bednarz, N. & Garnier, C. (dir.). (1989). *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Ottawa : Cirade
- ♦ Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, Vol. 7.2, 33-115
- ♦ Brunn, J. H. (1995). Importance de l'histoire des sciences dans l'enseignement. In F. Ellenberger & J. Gaudant (dir.), *Essais sur l'histoire de la géologie : Hommage à E. Wegmann, Mémoires de la Société Géologique de France* (n° 168, pp. 145-146). Paris : Société géologique de France.
- ♦ Caillot, M. (2001). Rapports aux savoirs et didactique des sciences. In P. Jonnaert & S. Laurin (dir.), *Les didactiques des disciplines, un débat contemporain* (pp. 111-131). Sainte-Foy (Québec) : Presses de l'Université du Québec.

- ♦ Cholley, M. (coord.). (1992). *La géologie à l'école primaire. Comment l'aborder à partir d'exemples régionaux ?* Besançon : CRDP.
- ♦ Collectif. (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
- ♦ Coquidé, M. (1996). Didactique de la biologie et histoire des sciences. In *Histoire des sciences et des techniques* (pp.335-345). Bretagne : CRDP.
- ♦ Crépin-Obert, P. (2002). Des conceptions initiales aux systèmes explicatifs des élèves de l'école primaire sur l'origine des espèces. *Grand N*, n°70, 101-123.
- ♦ Crépin-Obert, P. (2005). Etude comparée épistémologique et didactique à propos du concept de fossile. Place et rôle de l'enseignant dans la gestion des débats. *Actes des Quatrièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 101-107.
- ♦ Crépin-Obert, P. (2007a). La professionnalité et les interventions enseignantes dans la mise en oeuvre de débats en sciences biologiques au cycle 2 de l'école primaire. In *Colloque international du Pôle Nord-Est, Les effets des pratiques enseignantes sur les apprentissages des élèves*. Besançon : mars 2007
- ♦ Crépin-Obert, P. (2007b). Débat, problématisation et apprentissages scientifiques : une étude de cas au collège à propos d'une histoire des êtres vivants sur Terre. *Actes des Cinquièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 89-96
- ♦ Crépin-Obert, P. (2009). Problématisation comparée d'un débat scolaire et d'une controverse historique à propos de l'origine des coquilles fossiles. *Actes des Sixièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*. 11p.
- ♦ De Hosson, C. (2004). *Contribution à l'analyse des interactions entre histoire et didactique des sciences*. Thèse dir. W. KAMINSKI & J. Gayon : Université Paris 7
- ♦ Désautels, J. & Larochelle, M. (1992). *Autour de l'idée de science*. Université de Laval et Bruxelles : De Boeck
- ♦ Deunff, J. & Lameyre, J. (dir.). (1990) *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*. Paris : Ministère de l'Education Nationale/Direction des écoles /CRDP de Poitou-Charentes
- ♦ Deunff, J. & Sabourdy, G. (coord.). (1994). *La géologie à l'école* (Tome 2). Poitou-Charentes : CRDP/ Quartz.
- ♦ De Vecchi, G. & Giordan, A. (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche" ?* Nice : Z'éditions.
- ♦ Fillon, P. & al. (2004). Argumentation et construction de connaissances en sciences. In J. Douaire, J. (Coord.), *Argumentation et disciplines scolaires* (pp. 203-247). Saint-Fons : INRP.
- ♦ Fortin, C. (2006). Créationnisme et finalisme évolutionniste. *Argos*, N°39-L'effet religieux, Créteil : CRDP, 42-46.
- ♦ Gilly, M. (1989a). A propos de la théorie du conflit socio-cognitif et des mécanismes psychosociaux des constructions cognitives : perspectives actuelles et modèles explicatifs. In N. Bednarz & C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 162-182). Ottawa : Cirade.
- ♦ Gilly, M. (1989b). Remarques et réflexions à propos de didactique et de conflit socio-cognitif. In N. Bednarz & C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 382-389). Ottawa : Cirade.
- ♦ Giordan, A. (dir.). (1983/1994). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques : approche didactique de la construction des concepts scientifiques par les élèves*. Bern-Berlin-Paris : Peter Lang.
- ♦ Giordan, A., Girault, Y. & Clément, P. (1994). *Conceptions et connaissances*, Berne : Peter Lang.

- ♦ Girault, Y. (2000). Déterminisme versus aléatoire : réflexions sur des obstacles épistémologiques et mathématiques à la compréhension et à l'enseignement du vivant. In *Actes du Colloque International de Didactique de la Biologie* (pp. 109-125). Alger : octobre 2000.
- ♦ Gohau, G. (1995b). Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élèves et d'écrivains primaire. *Aster*, 20, 21-41.
- ♦ Gohau, G. (2002b). Redécouverte d'hier et d'aujourd'hui. In N. Hulin (dir.), *Sciences naturelles et formation de l'esprit. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902* (pp. 163-181). Villeneuve d'Ascq : presses univ. du septentrion.
- ♦ Gouanelle, C. & Schneeberger, P. (1995). Enseigner les fossiles à l'école primaire. *Aster*, 21 *Enseignement de la géologie*. 81-107
- ♦ Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- ♦ Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- ♦ Johsua, S. (1989). Les conditions d'évolution de conceptions d'élèves. In N. Bednarz & C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 306-314). Ottawa : Cirade.
- ♦ Johsua, S. (2002). Les « obstacles épistémologiques » et le cadre vygotkien. In M. Brossard & J. Fijalkow (dir.), *Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotkiennes* (pp. 27-36). Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux.
- ♦ Lacoste, C. (2001). *Influences des travaux de terrain sur les apprentissages en géologie*, Thèse dir. G. Sabourdy : Université de Limoges.
- ♦ Laperrière-Tacussel, M. (2002). Essais de construction de situations pédagogiques sur le thème des fossiles. *Grand N*, n°69, 83-98
- ♦ Lecointre, G. (dir.). (2004). *Comprendre et enseigner la classification du vivant*. Paris : Belin.
- ♦ Lhoste, Y. (2007). Comment des étudiants préparant le CRPE construisent le concept d'ancêtre commun. *Actes des Cinquièmes Rencontres de l'ARDIST*, 209-216
- ♦ Lhoste, Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissages dans les sciences de la vie. Etudes de débats scientifiques dans la classe dans deux domaines biologiques : nutrition et évolution*. Thèse dir. C. Orange & M. Jaubert : Université de Nantes.
- ♦ Libarkin, J. C., Kurdziel, J. P. & Anderson, S. W. (2007). College Student Conceptions of Geological time and the Disconnect Between Ordering and Scale. *Journal of Geoscience Education*, v.55, n. 5, 413-422.
- ♦ Libis, A. & Saderi, F. (1992). *Evolution des vivants*. Strasbourg : CRDP.
- ♦ Mairone, C. (2007). Etude du rapport au savoir des professeurs des écoles vis-à-vis de la notion d'évolution des êtres vivants. *Actes des Cinquièmes Rencontres de l'ARDIST*, 233-240.
- ♦ Mairone, C. (2009). Rapport au savoir « évolution des espèces vivantes » chez les élèves de 10-12 ans de l'école primaire française. *Actes des Sixièmes Rencontres de l'ARDIST*. (Version électronique)
- ♦ Mairone, C. & Dupin, J.-J. (2008). Rapport au savoir « évolution des espèces vivantes » chez des professeurs des écoles primaires françaises. *Didaskalia*, N°33, 33-61.
- ♦ Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.

- ♦ Martinand, J.-L. (1989). Des objectifs-capacités aux objectifs-obstacles ; deux études de cas. In N. Bednarz & C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 217-227). Ottawa : Cirade.
- ♦ Monchamp, A. & Sauvageot-Skibine, M. (1995). Du fixisme à la tectonique des plaques. Et pourtant, elles bougent. *Aster, n°20 Représentations et obstacles en géologie*, 3-20.
- ♦ Orange, C. (1993a). Repères épistémologiques pour une didactique du problème. *Les sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle, n°4-5 Didactique IV : statut et fonction du problème dans l'enseignement des sciences*, 33- 49.
- ♦ Orange, C. (1993b). Le concept d'obstacle en didactique des sciences : nécessité d'une approche plurielle. *Documents du CERSE*, 60, 1-19.
- ♦ Orange, C. (1995). Volcanisme et fonctionnement interne de la Terre : repères didactiques pour un enseignement de l'école élémentaire au lycée. *Aster, n°20 Représentations et obstacles en géologie*, 85-103.
- ♦ Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie. Quels apprentissages pour le lycée ?* Paris : PUF.
- ♦ Orange, C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer les représentations ou construire des raisons. *Actes des premières rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 88-93.
- ♦ Orange, C. (2000). *Idées et raisons. Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Université de Nantes : H.D.R.
- ♦ Orange, C. (2001). Débat, problématisation et apprentissages scientifiques : le cas d'un débat sur les volcans en CM1-CM2. *Actes Congrès AECSE « Recherches sur les pratiques enseignantes »*, 1-11.
- ♦ Orange, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle, vol. 35 (1) L'enseignement des sciences : méthodes, finalités*, 25-42.
- ♦ Orange, C. (2003a). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster, n°37 Interactions langagières 1*, 83-107
- ♦ Orange, C. (2003b). Un exemple de problématisation en biologie : Claude Bernard et le milieu intérieur. *Actes des troisièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 231-237.
- ♦ Orange, C. (2005a). Problématisation et conceptualisation en sciences dans les apprentissages scientifiques. *Les sciences de l'éducation -Pour l'ère nouvelle, vol. 38 (3) La problématisation : approches épistémologiques*, 69-93.
- ♦ Orange, C. (2005b). Signification en didactique des sciences, des références aux pratiques des chercheurs. L'exemple du débat scientifique dans la classe. *Colloque international, Didactique : quelles références épistémologiques ? Bordeaux 25-27 mai*, 1-6.
- ♦ Orange C. (2008). Les fonctions épistémologiques de l'évolution dans les programmes français de sciences de la vie et de la Terre. In M. Coquidé & S. Tirard (coord.), *L'évolution de vivant un enseignement à risque ?* (pp. 35-43). Paris : Vuibert/ Adapt-snes.
- ♦ Orange, C. & D. (1993). Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie. *Les sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle, n°4-5 Didactique IV : statut et fonction du problème dans l'enseignement des sciences*, 51- 69.
- ♦ Orange, C. & D. (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques, *Aster, n°20 Représentations et obstacles en géologie*, 27-49.
- ♦ Orange, C., Lhoste, Y. & Orange-Ravachol, D. (2008). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin (dir.), *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage* (pp. 75-116). Lyon : INRP.
- ♦ Orange, D. (2001). L'histoire des ophiolites selon les géologues et les lycéens : comparaison et conséquences didactiques. *Actes des Deuxièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 261-271.
- ♦ Orange-Ravachol, D. (2003). *Utilisations du temps et explications en sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude de quelques problèmes géologiques*. Thèse dir. M. Fabre & G. Gohau : Université de Nantes.

- ♦ Orange-Ravachol, D. (2005). Le principe de l'actualisme pierre d'achoppement des lycéens confrontés à des problèmes de géologie historique. *Actes des Quatrièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 265-271.
- ♦ Orange-Ravachol, D. & Triquet, É. (coord.). (2007). *Aster, n°44 Sciences et récits*.
- ♦ Peterfalvi, B. (2001). *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations. L'exemple des transformations de la matière*. Thèse dir. Astolfi, J.-P. : Université de Rouen.
- ♦ Peterfalvi, B. (2005). Travail sur les obstacles et problématisation, quels apports réciproques ? 73^e congrès de l'ACFAS, Chicoutimi. Québec.
- ♦ Peterfalvi, B. (2006). Problématisation et travail sur les obstacles en sciences. In M. Fabre & E. Vells (dir.), *Situations de formation et problématisation* (pp.91-106). Bruxelles : De Boeck Université.
- ♦ Peterfalvi, B. (2008). Comprendre la théorie de l'évolution, une course d'obstacles ? In M. Coquidé & S. Tirard (coord.), *L'évolution du vivant un enseignement à risque ?* (pp. 109-121). Paris, Vuibert/Adapt-snes.
- ♦ Quessada-Chabal, M.-P. (2008). *L'enseignement des origines d'Homo sapiens, hier et aujourd'hui, en France et ailleurs : programmes, manuels scolaires, conceptions des enseignants*. Thèse dir. P. Clément : Université de Montpellier 2.
- ♦ Reuter, Y.(éd.). (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles : De Boeck & Larcier
- ♦ Rumelhard, G. (1995a). La fonction négative dans les sciences de la vie et de la Terre. *Aster, n°21 Enseignement de la géologie*, 9-25.
- ♦ Rumelhard, G. (1995b). Permanence, métamorphose, transformation. *Biologie-Géologie n°2*, 333-345
- ♦ Rumelhard, G. (dir.). (2000). *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre*. Paris : INRP.
- ♦ Rumelhard, G. (2008). Evolution et créationnisme. In M. Coquidé & S. Tirard (coord.), *L'évolution du vivant un enseignement à risque ?* (pp. 177-186). Paris : Vuibert/Adapt-snes.
- ♦ Samarapungavan, A. & Wiers, R. W. (1997). Children's Thoughts on the origin of species : a study of explanatory coherence. *Cognitive Science, Vol.21 (2)*, 147-177.
- ♦ Sauvageot-Skibine, M. (1994). Les trames conceptuelles, outils de formation en didactique de la biologie. *Didaskalia n°5*, 91-105.
- ♦ Sauvageot-Skibine, M. (1995). Une situation-problème en géologie : un détour de l'anecdote au scientifique. *Aster, n°21 Enseignement de la géologie*, 137-160.
- ♦ Savaton, P. (1998). *La carte géologique dans l'enseignement secondaire : bilan historique et didactique, réflexion et propositions d'apprentissage*. Thèse dir. G. Rumelhard & G. Gohau : Université Paris 7
- ♦ Savaton, P. (2002). De la minéralogie aux sciences de la Terre : la géologie dans l'enseignement secondaire de 1795 à 1988. *Revue d'histoire des sciences, Tome 55-4*, 533-558
- ♦ Schneeberger, P. (1994). Des dinosaures à l'école ou : Et si on allait à l'Expo. ? *Actes des 16^{èmes} Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles-Chamonix*, 301-305.
- ♦ Schneeberger, P. (2002). Des controverses scientifiques en CE2. *Cahiers pédagogiques, n°401 Débattre en classe*, 49-51.
- ♦ Schneeberger, P. & Ponce C. (2003). Tirer parti des échanges langagiers entre pairs pour construire des apprentissages en sciences. *Aster, n°37 Interactions langagières 1*, 53-82.

- ♦ Schneeberger, P., Robinson, P., Liger-Martin, J & Darley B. (2007). Conduire un débat pour faire construire des connaissances en sciences. *Aster*, n° 45 *Professionnalité des enseignants en sciences expérimentales*, 39-64.
- ♦ Thomas, R. C. (2001). Learning Geologic Time in the Field. *Journal of Geosciences Education*, vol.49 (n°1), 18-21.
- ♦ Tirard, S. (1996). *Les travaux sur l'origine de la vie de la fin du XIXème siècle jusqu'aux années 1970*. Thèse dir. M. Morange : Université Paris 7.
- ♦ Tirard, S. (2000a). Les origines de la vie : un problème, des disciplines. *Aster*, n°30 *Rencontres entre les disciplines*, 105-122.
- ♦ Tirard, S. (2000b). Les origines de la vie. In G. Rumelhard (dir.), *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre* (pp. 107-123). Paris : INRP.
- ♦ Tirard, S. (2000c). Les origines du vivant et la formulation des modèles pluridisciplinaires. In P. Clément (dir.), *Actes du colloque International de Didactique de la Biologie* (pp. 55-66). Alger/Lyon : ENS-Université C.Bernard Lyon 1.
- ♦ Trend, R. (1998). An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year-old children. *International Journal of Science education*, Vol. 20 (N°8), 973-988.
- ♦ Trend, R. (2000). Conceptions of geological time among primary teacher trainees, with reference to their engagement with geoscience, history, and science. *International Journal of Science education*, Vol. 22 (N°5), 539-555.
- ♦ Triquet, É. (1998). Qu'est-ce qui influence les apprentissages des élèves de collège lors d'une visite guidée dans un musée de paléontologie ? *Actes des 20èmes Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles*, 493-498
- ♦ Triquet, É. & Laperrière, M. (1999). Étudier les fossiles au musée. La spécificité des objets et du discours muséal comme point d'ancrage des apprentissages. *Aster*, n°29 *L'école et ses partenaires scientifiques*, 147-170.
- ♦ Viennot, L. (1989a). Tendance à la réduction fonctionnelle : obstacle au savoir scientifique et objet de consensus. In N. Bednarz & C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 84-92). Ottawa : Cirade.
- ♦ Viennot, L. (1989b). Obstacle épistémologique et raisonnements en physique : tendance au contournement des conflits chez les enseignants. In N. Bednarz & C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 117-129). Ottawa : Cirade.
- ♦ Weil-Barais, A. (coord.). (1997). *Les méthodes en psychologie*. Rosny : Bréal.
- ♦ Wilkinson, I. (2002). Geological Time in the Classroom. *Teaching earth sciences*, vol. 27 (n°4), 121-124.

3 Épistémologie, philosophie, histoire et enseignement des sciences

- ♦ Bachelard, G. (1938/1972). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- ♦ Bachelard, G. (1940/2005). *La philosophie du non*. Paris : PUF Quadrige.
- ♦ Bachelard, G. (1949/ 2004). *Le rationalisme appliqué*. Paris : P.U.F. Quadrige.
- ♦ Bachelard, G. (1951). L'actualité de l'histoire des sciences. *Les Conférences du Palais de la Découverte*. Université de Paris.
- ♦ Bachelard, S. (1968). Épistémologie et histoire des sciences. *XIIe Congrès international d'histoire des sciences*, 39-51.

- ♦ Benoist, J. (2003). Donné. In D. Lecourt (dir), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (pp. 311-314). Paris : PUF Quadrige.
- ♦ Canguilhem, G. (1965/2009). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- ♦ Canguilhem, G. (1968/2002). *Études d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. Paris : Librairie philosophique J. Vrin.
- ♦ Canguilhem, G. (1985). Vie. In *Encyclopedia Universalis* (corpus 18, pp. 806-813). Paris.
- ♦ Canguilhem, G. (1988/2000). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie. Nouvelles études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin.
- ♦ Foucault, M. (1966/2005). *Les mots et les choses : une archéologie des sciences humaines*. Paris : Gallimard.
- ♦ Gayon, J. (1993). La biologie entre loi et histoire. *Philosophie* (Les éditions du minuit), 30-57.
- ♦ Giordan, A. (1987). *Histoire de la biologie* (Tome 1). Paris : Technique & Documentation – Lavoisier.
- ♦ Gohau, G. & Tirard, S. (1998). 2^o trimestre, Y a-t-il des débats en sciences ? *Raison présente, n°126 Démocratie, débats et mensonges*, 79-101.
- ♦ Gohau, G. (2001). La géologie, discipline mal aimée. In N. Hulin (coord.), *Études sur l'histoire de l'enseignement des sciences physiques et naturelles* (pp. 67-80). Lyon : ENS editions.
- ♦ Greiffenhagen, C. & Sherman W. (2008). Kuhn and conceptual change : on the analogy between conceptual changes in science and children. *Science & Education, Vol. 17 (N°1)*, 1-28
- ♦ Kuhn, T. S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. France : Flammarion.
- ♦ Koyré, A. (1966/1973). *Études d'histoire de la pensée scientifique*. Paris : Gallimard.
- ♦ Langevin, P. (1926). La valeur éducative de l'histoire des sciences. *Bulletin de la société française de pédagogie*
- ♦ Langevin, P. (1964). Le professeur et l'éducateur. In *La pensée et l'action* (pp.176-250). Paris : Editions sociales.
- ♦ Lecourt, D. (1968/1974). Expérience. In *Encyclopédia Universalis* (corpus 6, pp. 851-853). Paris.
- ♦ Lévi-Strauss, C. (1962). *La pensée sauvage*. Paris : Plon.
- ♦ Martinand, J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? *Didaskalia, n°2 Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques*, 89-99
- ♦ Mathy, P. (1997b). Histoire des sciences et enseignement des sciences : Quoi ? Pourquoi ? Comment ? *Revue des Questions Scientifiques, Tome 168 (N°3)*. 413-434
- ♦ Molino, J. & Laserna Pinzon, M. (1996). Épistémologie évolutionniste et frontières du savoir. In *Qu'est-ce qu'on ne sait pas ? : Rencontres philosophiques de l'UNESCO, 14-17 mars 1995* (pp. 26-29). Paris : Découvertes Gallimard/UNESCO.
- ♦ Piaget, J. (1970). *Épistémologie génétique*. Paris : PUF.
- ♦ Piaget, J. & Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.

- ♦ Popper, K. R. (1979/2006). *Conjectures et réfutations – La croissance du savoir scientifique*. Paris : Editions Payot & Rivages.
- ♦ Raichvarg, D. (1987). La didactique a-t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences ? *Aster*, n°5 *Didactique et histoire des sciences*, 3-34.
- ♦ Raichvarg, D. (1991). *Savants et ignorants. Une histoire de la vulgarisation des sciences*. Paris : Éditions du Seuil.
- ♦ Raichvarg, D. (1997). Enseignement et pluralisme. In J. Rosmorduc (dir.), *Histoire des sciences et des techniques* (pp. 107-111). Paris : CRDP Bretagne.
- ♦ Ricoeur, P. (1996). Le paradoxe d'apprendre. In *Qu'est-ce qu'on ne sait pas ? : rencontres philosophiques de l'UNESCO, 14-17 mars 1995* (p. 12). Paris : Découvertes Gallimard/UNESCO.
- ♦ Rosmorduc, J. (1993). L'histoire des sciences et leurs didactiques. *Les sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle*, n°4-5 *Didactique IV : statut et fonction du problème dans l'enseignement des sciences*, 153-172.
- ♦ Rosmorduc, J. (1997). *Histoire des sciences et des techniques*. Bretagne : CRDP.

4. Sciences de l'éducation et Formation des enseignants

- ♦ Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, n°138 *Recherches sur les pratiques d'enseignement et de formation*, 85-93
- ♦ Astolfi, J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF éditeur.
- ♦ Astolfi, J.-P. (1997/2009). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Issy-les Moulineaux : ESF éditeur
- ♦ Astolfi, J.-P. & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.
- ♦ Astolfi, J.-P. & Peterfalvi, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster*, n°25 *Enseignants et élèves face aux obstacles*, 193-216.
- ♦ Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. & Vérin, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences ?* Paris : Retz.
- ♦ Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- ♦ Éveleigh, H. & Tozzi, M. (coord.). (2002). *Cahiers pédagogiques*, n°401 *Débattre en classe*.
- ♦ Fabre M. (1993). De la résolution de problème à la problématisation. *Les sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle*, n°4-5 *Didactique IV : statut et fonction du problème dans l'enseignement des sciences*, 71-101.
- ♦ Fabre, M. (1999a). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : P.U.F.
- ♦ Fabre, M. (1999b). *Jean-Jacques Rousseau : une fiction théorique éducative*. Paris : Hachette Éducation
- ♦ Fabre, M. (2001). *Gaston Bachelard. La formation de l'homme moderne*, Paris : Hachette Éducation
- ♦ Fabre, M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les sciences de l'éducation- Pour l'ère nouvelle*, vol. 38, n°3 *La problématisation : approches épistémologiques*, 53-67.
- ♦ Fabre, M. (2009). Du bon usage des controverses. *Actes des Sixièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, conférence*.
- ♦ Fabre, M. & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, n°24 *Obstacles : travail didactique*, 37-57.

- ♦ Fabre, M. & Vellas É. (dir.). (2006). *Situations de formation et problématisation*. Bruxelles : De Boeck Université.
- ♦ Laurendeau, M. & Pinard, A. (1962). *La pensée causale : étude génétique et expérimentale*. Paris : PUF.
- ♦ Maulini, O. (2005a). *Questionner pour enseigner et pour apprendre*. Paris : ESF.
- ♦ Maulini, O. (2005b). L'union des travailleurs de la question. Contrôle de l'apprentissage et institutions des problèmes à l'école élémentaire. *Les sciences de l'éducation- Pour l'ère nouvelle*, vol. 38, n°3 *La problématisation : approches épistémologiques*, 11-32.
- ♦ Martinand, J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement de curriculum ? In Equipe INRP/LIREST (dir), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation* (pp. 115-125). Paris : INRP.
- ♦ Martinand, J.-L. (2001a). Pratiques de référence et problématique de la référence curriculaire. In A. Terrisse (ed.s.), *Didactiques des disciplines- les références au savoir* (pp. 18-24). Bruxelles : De Boeck Université.
- ♦ Martinand, J.-L. (2001b). Du bon usage de l'empirisme. *Actes des 23^{èmes} Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles-Chamonix*, 29-33.
- ♦ Mathy, P. (1997a). *Donner du sens au cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*. Bruxelles : De Boeck Université.
- ♦ Meirieu, P. (1987/1993). *Apprendre ...Oui, mais comment*, Paris : ESF éditeur.
- ♦ Perrenoud, P. (1999). *Enseigner : agir dans l'urgence, décider dans l'incertitude : savoirs et compétences dans un métier complexe*. Paris : ESF.
- ♦ Piaget, J. (1947/1999). *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris : PUF.
- ♦ Plantin, C. (2005). *L'argumentation- Histoire, théories et perspectives*. Paris : PUF.

TABLE DES ANNEXES

Projet de classe et situation de débat en CM1 sur l'origine des fossiles

<u>ANNEXE 1 :</u>	Méthodologie de construction autonome d'une grille d'analyse des conceptions initiales - préparation de la séance de confrontation (cf. 4. 25). pp. 549-551
<u>ANNEXE 2 :</u>	Organigramme de la séquence en sciences - CM1 -2004-2005 (Cf. 5. 1). p. 552
<u>ANNEXE 3 :</u>	Situation de départ « Animaux marins fossiles et actuels » - Fiche d'exploitation de la valise pédagogique (Cf. 5. 12). pp. 553-554
<u>ANNEXE 4 :</u>	Transcription de la séance du débat mené en classe de CM1 et traces écrites produites - Ecole primaire Helvétie de Besançon – J.-P. Caré – 21 mai 2004 (Cf. 5. 13). pp. 555-571
<u>ANNEXE 5 :</u>	Productions sélectionnées par l'enseignant de trois élèves de CM1 (Clara, Margaux, Laura). Supports de discussion des épisodes retenus du débat scolaire, conceptions initiales sur l'origine, la nature et la formation des fossiles (Cf. 5. 13). pp. 572-574
<u>ANNEXE 6 :</u>	Échanges épistolaires entre la classe de CM1 et le conservateur du Muséum d'histoire naturelle « Georges Cuvier » de Montbéliard, les 8 et 28 octobre 2004 (Cf. 5. 14). pp. 575-577
<u>ANNEXE 7 :</u>	Macrostructure de la controverse du débat de la classe de CM1 / obstacle artificialiste (formulations d'élèves) (Cf. 5. 31). pp. 578-579
<u>ANNEXE 8</u>	Transcription de la séance de sortie à la marnière, discussion finale après récolte des fossiles mis en commun- Classe de CM1- École primaire Helvétie de Besançon – J.-P. Caré – 6 juin 2004 (Cf. 5. Cl.). p. 580
<u>ANNEXE 9</u>	Transcription de la séance de discussion sur les fossiles énigmatiques au retour de la marnière- Trace écrite produite. Classe de CM1- École primaire Helvétie de Besançon – J.-P. Caré – 15 juin 2004 (Cf. 5. Cl.). pp. 581-584
<u>ANNEXE 10</u>	Evaluations de 3 élèves, Estelle, Farès et Vincent, concevant encore le volcanisme comme la cause principale de la fossilisation (Cf. 5. Cl.). pp. 585-587
	Controverse historique au XVII^e siècle sur l'origine des pierres et des fossiles
<u>ANNEXE 11</u>	Transcription de la note manuscrite de Jean-Étienne Guettard, traduction du texte de Jean-Baptiste DuHamel à propos des bélemnites – inédit (Cf. 6). p. 590

<u>ANNEXE 12</u>	Traduction latine de chapitre 6 de Du Hamel, J.-B. (1660). <i>De meteoris et fossilibus, per dialogos</i> (libri duo, pp. 183-200).—inédit (Cf. 6. 11). pp. 591-608
<u>ANNEXE 13</u>	Traduction latine d'un extrait du chapitre 7 de Du Hamel, J.-B. (1660). <i>De meteoris et fossilibus, per dialogos</i>, (ibri duo, pp. 205-211) – inédit (Cf. 6. 11). pp. 609-612
<u>ANNEXE 14</u>	Deux espaces de formulations : Déclaration de Théophile suivie de la réponse de Simplicius dans le dialogue galiléen sur la nature et la génération des pierres - Du Hamel (1660, livre 2, chap. 6, pp.184-200) (Cf. 6. 14). pp. 613-614 Controverse historique au XVIII^e siècle sur l'origine des fossiles
<u>ANNEXE 15</u>	Lettre de remerciement de Jean-Étienne Guettard à Emanuel Mendes Da Costa du 15 décembre 1749 - Manuscrit inédit (Cf. 6. 21). pp.617-618
<u>ANNEXE 16</u>	Minute autographe de la réponse en français de Emanuel Mendes Da Costa à Jean-Étienne Guettard en février 1750 - Manuscrit inédit (Cf. 6. 21). pp. 619-621
<u>ANNEXE 17</u>	Transcription de la réponse manuscrite de Jean-Étienne Guettard à Voltaire au sujet de la formation des pierres et des montagnes (deuxième partie) - Manuscrit inédit (Cf. 6. 21, 6. 23). pp. 622-628
<u>ANNEXE 18</u>	Table des caractères chimiques -Manuscrit d'un élève du cours de chimie - inédit (Cf. 6. 21). pp. 629-630
<u>ANNEXE 19</u>	Table des caractères de légende des cartes minéralogiques de J.-É. Guettard, où les roches et les fossiles sont classés par ordre alphabétique - Manuscrit inédit (Cf. 6. 21). pp. 631-633
<u>ANNEXE 20</u>	Transcription de la réponse manuscrite de Jean-Étienne Guettard à Voltaire au sujet de la formation des coraux et des polypes (troisième partie) - Manuscrit inédit (Cf. 6. 23). pp. 634-639
<u>ANNEXE 21</u>	Espace de formulations : discours de Voltaire sur les coquilles fossiles et la formation de la Terre (Cf. 6. 23). p. 640
<u>ANNEXE 22</u>	Un fossile de crinoïdes, encore énigmatique en province, à Besançon, en 1763, par M. Goy - Manuscrit inédit (cf. Cl. II). pp. 641-642 Projet de classe et situation de débat en CM1 sur la nature des fossiles
<u>ANNEXE 23</u>	Macrostructure de la controverse de la classe de CM1 / obstacle animiste (formulations d'élèves) - Premier épisode (Cf. 7. 11). pp. 644-645
<u>ANNEXE 24</u>	Macrostructure de la controverse de la classe de CM1 / obstacle animiste (formulations d'élèves) - Second épisode (Cf. 7. 11). p. 646

<u>ANNEXE 25</u>	Espace de formulations, débat en CM1 sur la croissance végétale des fossiles (Cf. 7. 22). p. 647
	Controverse historique au XVIII^e siècle sur la nature des fossiles
<u>ANNEXE 26</u>	Transcription de la réponse manuscrite de Jean-Étienne Guettard à Voltaire au sujet de la formation des pierres et des coquilles, et des erreurs de La Sauvagère (première partie) - Manuscrit inédit (Cf. 8. 1). pp. 651-654
	Projet de classe et situation de débat en CM2 sur l'identité d'un fossile
<u>ANNEXE 27</u>	Organigramme de la séquence en sciences en CM2 (Cf. 9. 11). p. 657
<u>ANNEXE 28</u>	Analyse des conceptions initiales individuelles des élèves : ensemble des possibles (Cf. 9. 12). p. 658
<u>ANNEXE 29</u>	Productions écrites des élèves de CM2, en retour de la sortie géologique- Dessins d'ammonites et de leurs analogues vivants supposés (Cf. 9. 12). pp. 659-664
<u>ANNEXE 30</u>	Transcription de la séance du débat mené en classe de CM2 et trace écrite collective- Ecole primaire de Grandfontaine –Y. Favory – 31 mars 2005 (Cf. 9. 31). pp. 665-679
<u>ANNEXE 31</u>	Macrostructure de la controverse de la classe de CM2 / obstacle analogiste (formulations d'élèves) (Cf. 9. 31). pp. 680-681
	Projet de classe et situation de débat en 4^{ème} sur l'histoire des vivants sur Terre
<u>ANNEXE 32</u>	Organigramme de la séquence en sciences en 4^{ème} de collège - Collège de Pouilley-les-Vignes (Cf. 10. 11). p. 685
<u>ANNEXE 33</u>	Questionnaire d'émergence des conceptions initiales sur l'histoire de la vie sur Terre - diaporama – Collège de Pouilley-les Vignes - 26 avril 2005 (Cf. 10.12). pp. 686-688
<u>ANNEXE 34</u>	Productions d'élèves de 4^{ème} sur la succession de dix êtres vivants sur une flèche du temps – Conceptions initiales sur l'histoire des êtres vivants sur Terre (Cf. 10. 21). pp. 689-703
<u>ANNEXE 35</u>	Transcription de la séance de débat à partir des questions d'élèves de 4^{ème} sur la mise en histoire des êtres vivants sur Terre - Traces écrites produites -collège de Pouilley-les-Vignes- A. Marle -3 mai 2005 (Cf. 10. 3 1). pp. 704-718
<u>ANNEXE 36</u>	Macrostructure de la controverse de la classe de 4^{ème} / obstacle analogiste (formulations d'élèves) (Cf. 10. 31). pp. 719-720

<u>ANNEXE 37</u>	Espace de formulations, controverse sur l'ordre de succession des animaux sur Terre - 4^{ème} - Collège Pouilley-les vignes- mai 2005 (Cf. 10. 32). p. 721
<u>ANNEXE 38</u>	Questionnaire guidant la recherche documentaire semi-autonome en 4^{ème} (Cf. 10. 41). pp. 722-723 Controverse historique au XIX^e siècle sur l'identité d'un fossile et l'histoire des vivants sur Terre
<u>ANNEXE 39</u>	Tableau comparatif des fossiles en débat et des animaux actuels d'après l'argumentation de Blainville en 1838. Figures et planches des fossiles référencés (Cf. 11. 11). pp. 727-729

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Iconographies

Iconographie N°1:

Frise explicative de la fossilisation d'une ammonite en fin de séquence pédagogique par un élève de CM1 (Cf. 5. 11). p.97

Iconographie N°2 :

Explication des caractères de la carte minéralogique du trajet en France et en Allemagne par Guettard (1763) (Cf. 6.21). p. 165

Iconographie N°3 :

Laura, élève de CM1, production écrite sur fossile et fossilisation, cas d'une conception initiale animiste (Cf. 7. 11). p. 214

Iconographie N°4 :

Explication des caractères de la carte minéralogique et carte minéralogique des terrains de la France et de l'Angleterre par Philippe Buache et Jean-Étienne Guettard - 1746 (Cf. 8. 13). p. 240

Iconographie N°5:

Différents fossiles de la pièce d'eau, retenus par Guettard et expliqués par La Sauvagère (Cf. 8. 13). p. 243

Iconographie N°6:

Branche d'arbre, pétrifiée couverte de coquilles –La Sauvagère, 1776- (Cf. 8. 13). p. 247

Iconographie N°7 :

« Morceau de pierre de l'encroûtement de mon Château des Places, mêlée & formé de coquilles » –La Sauvagère, 1776- (Cf. 8.15). p. 257

Iconographie N°8 :

Un exemple d'ostracode marin, genre Cythéracé -photographie personnelle- (Cf. 8. 15). p. 263

Iconographie N°9 :

Planche de fossiles bivalves, XVII^e-XVIII^e siècles, cas d'animisme (Cf. Cl. III). p. 296

Iconographie N°10 :

Dessins d'un fossile d'ammonite, Creniceras, et de son analogue vivant supposé, par deux élèves de CM2 (Cf. 9. 22). p. 314

Iconographie N°11 :

Conception de l'apparition de dix êtres vivants, positionnés sur une flèche du temps, par deux élèves de 4^{ème}, Anne et Lucie (Cf. 10. 2.1). p. 350

Iconographie N°12 :

Lithographie d'un cours futuriste peint par De la Beche -1830 « Awful changes » (Cf. 11.1.2). p. 397

Iconographie N°13 :

Les sculptures allégoriques de la Théorie et de la Pratique, photographie personnelle du fronton de l'ancienne faculté de médecine à Paris, datant du XVIII^e siècle (Cf. V.). p. 468

Schémas

Schéma N°1 :

Espace des possibles exprimés par des élèves de CM1 / questions : «Qu'est-ce qu'un fossile ? Comment se forme un fossile ? Est-ce que tu connais d'autres fossiles que ceux que nous avons vu la dernière fois ? A ton avis, à quoi sert aujourd'hui l'étude des fossiles ? » (Cf. 5. 22). p. 104

Schéma N°2 :

Macrostructure du débat sur l'origine et la formation des fossiles -CM1-École Helvétie - Besançon (Cf. 5. 31).p. 110

Schéma N°3 :

Macrostructure de la controverse de la classe de CM1 par rapport à l'obstacle artificialiste (Cf. 5. 31). p. 113

Schéma N°4 :

Espace de contraintes et de possibles, un extrait de débat en CM 1 : Les fossiles ont-ils été fabriqués par les hommes préhistoriques ? (Cf. 5. 33). p. 125

Schéma N°5 :

Macrostructure argumentative en faveur de l'origine artificielle des fossiles, classe de CM1 (Cf. 5. 41). p. 128

Schéma N°6 :

Macrostructure argumentative en faveur de l'origine naturelle des fossiles, classe de CM1 (Cf. 5. 41). p. 129

Schéma N° 7 :

Espace des contraintes et des possibles : déclaration de Théophile du dialogue galiléen sur la nature et la génération des pierres, par Du Hamel- (Cf 6. 14). p. 150

Schéma N° 8 :

Espace des contraintes et des possibles : réponse de Simplicius du dialogue galiléen sur la nature et la génération des pierres, par Du Hamel- (Cf 6. 14). p. 151

Schéma N°9 :

Macrostructure de la controverse sur l'origine et la diversité des pierres : « Quand Guettard échange avec Voltaire, sur la formation des pierres, des coquilles fossiles et des pierres figurées » (Cf. 6. 23). p. 177

Schéma N° 10 :

Macrostructure de la controverse sur l'origine des montagnes : « Quand Guettard échange avec Voltaire, sur les roches, les causes finales et la formation des montagnes » (Cf. 6. 23). p. 180

Schéma N° 11 :

Espace des contraintes et des possibles sur les coquilles fossiles et la formation de la Terre : « Quand Voltaire interpelle les naturalistes sur les amas de coquilles et les systèmes bâtis » (Cf. 6.23). p. 188

Schéma N° 12 :

Espace de contraintes et de possibles sur les coquilles fossiles et la formation de la Terre : « Quand Guettard répond à Voltaire sur les coquilles fossiles » (Cf. 6. 23). p. 192

Schéma N° 13 :

Macrostructure argumentative, Voltaire et les coquilles fossiles (Cf. 6. 23).p. 194

Schéma N° 14 :

Macrostructure contre argumentative, Guettard et les coquilles fossiles (Cf. 6. 23). p. 194

Schéma N° 15 :

Macrostructure de la controverse de la classe de CM1 par rapport à l'obstacle animiste, de végétation des fossiles – premier épisode (Cf. 7. 11). p. 216

Schéma N° 16 :

Macrostructure de la controverse de la classe de CM1 par rapport à l'obstacle animiste, de végétation des fossiles -second épisode (Cf. 7. 11). p. 218

sSchéma N° 17 :

Espace des contraintes et des possibles, un extrait de débat en CM 1 : Les fossiles peuvent-ils grandir ? (Cf. 7. 22). p. 227

Schéma N° 18 :

Macrostructure argumentative en faveur de l'origine naturelle des fossiles, en controverse de l'animisme (Cf. 7. 23). p. 229

Schéma N°19 :

Espace des contraintes et des possibles, controverse entre Guettard et La Sauvagère sur l'origine des coquilles en 1783 (Cf. 8. 13). p. 249

Schéma N°20

Coupe géologique dans la plaine alluviale du Véron, où se situe l'étang Des Places de La Sauvagère (Cf. 8. 13). p. 259

Schéma N°21 :

Espace des possibles, ensemble des hypothèses sur la nature des bélemnites au XVIII^e siècle vues par Élie Bertrand en 1763 (Cf. 8. 21). p. 269

Schéma N°22 :

Macrostructure du débat sur l'identification des échantillons fossiles d'ammonites par rapport aux animaux actuels –classe de CM2 (Cf. 9. 31). p. 317

Schéma N°23 :

Macrostructure de la controverse sur la parenté entre les fossiles d'ammonites et l'escargot terrestre –classe de CM2 (Cf. 9. 31). p. 322

Schéma N°24

Espace des contraintes et des possibles sur la controverse de parenté entre l'ammonite et l'escargot (Cf. 9. 33). p. 331

Schéma N°25

Macrostructure argumentative en faveur d'une homologie entre une ammonite et un escargot terrestre (Cf. 9. 41). p. 334

Schéma N°26

Macrostructure argumentative en faveur d'une analogie entre une ammonite et un escargot terrestre (Cf. 9. 41). p. 334

Schéma N° 27

Macrostructure du débat sur l'ordre de succession des êtres vivants animaux ou végétaux, au cours des temps -4^{ème} du collège de Pouilley-les-Vignes (Cf. 10. 31). p. 358

Schéma N°28

Macrostructure de la controverse sur l'ordre de succession des animaux, aquatiques et terrestres - classe de 4^{ème} (Cf. 10. 31). p. 362

Schéma N°29

Espace des contraintes et des possibles sur la controverse de succession et de parenté des espèces animales sur Terre (Cf. 10. 32). p. 369

Schéma N°30

Macrostructure argumentative en faveur d'une filiation entre les espèces aquatiques et terrestres (Cf. 10. 42). p. 376

Schéma N°31

Macrostructure argumentative en faveur de la conquête du milieu terrestre par les espèces aquatiques (Cf. 10. 42). p. 377

Schéma N°32

Macrostructure de la controverse de 1838 à propos du prétendu didelphe de Stonesfield - Blainville 1838- (Cf. 11. 31). p. 418

Schéma N°33

Espace des contraintes et des possibles de la controverse de 1838 à propos des fossiles de Stonesfield (Cf. 11.32). p.

Schéma N°34 :

Problèmes et obstacles communs, à propos du concept de fossile, rencontrés lors de situations-débats à l'école primaire et au collège et de controverses historiques du XVII^e au XIX^e siècle (Cf.). p. 479

Tableaux

Tableau N°1 :

Mise en parallèle des nombreuses interprétations des fossiles, des problèmes scientifiques soulevés et des obstacles repérés ayant conduit des objets terrestres à la paléontologie stratigraphique (Cf. 1. 4). p. 31

Tableau N°2 :

Approches didactiques complémentaires, problématisation et travail sur les obstacles (cf. 1. 5). p. 37

Tableau N°3 :

Des obstacles, illustrés par des formulations d'élèves de primaire, aux objectifs obstacles (Cf. 2. 11). p. 44

Tableau N°4 :

Synthèse comparative des conceptions historiques, modernes et d'élèves de lycée sur la problématique de l'origine de la vie (Cf. 2. 22). p. 59

Tableau N°5 :

Extrait d'une controverse scolaire artificialiste sur l'origine des fossiles, catégorisant les interventions des élèves selon la nature ou la fonction des arguments avancés (Cf. 5. 32). p. 121

Tableau N°6 :

Typologies des questions d'élèves, explicitées lors de la controverse artificialiste sur l'origine des fossiles (Cf. 5. 42). p. 132

Tableau N°7 :

Les « pierres figurées » de Du Hamel (personnage de Ménandre) (Cf. 6.12). p. 144

Tableau N°8 :

Typologie des questions explicitées par Voltaire, lors de la controverse sur l'origine des coquilles fossiles (Cf. 6.23). p. 183

Tableau N°9 :

Evolution de l'hypothèse « artificialiste » sur l'origine des coquilles fossiles et son rapport avec les autres hypothèses proposées par Voltaire (Cf. 6.23). p. 197

Tableau N°10 :

Comparaison des modes de pensée artificialiste entre les élèves de CM1, les personnages de Du Hamel et Voltaire (Cf. Cl. II). p. 202

Tableau N°11 :

Typologies des questions d'élèves explicitées lors du premier épisode animiste sur l'origine des fossiles (Cf. 7. 12). p. 220

Tableau N°12 :

Extrait d'une controverse scolaire animiste sur l'origine des fossiles, catégorisant les interventions des élèves, selon la nature ou la fonction des arguments avancés (Cf. 7. 22). p. 224

Tableau N° 13 :

Comparaison des modes de pensée animiste (Cl. III). p. 294

Tableau N°14 :

Questionnement dans la première phase du projet de classe en CM2 (Cf. 9. 12). p. 310

Tableau N°15 :

Extrait d'une controverse scolaire sur la parenté entre des fossiles d'ammonites et des animaux actuels, catégorisant les interventions des élèves selon la nature ou la fonction des arguments avancés (Cf. 9. 32) p. 328

Tableau N°16 :

Typologies des questions d'élèves de CM2, explicitées, ou de leurs doutes, lors de la controverse d'analogie, sur les fossiles d'ammonite et leur parenté avec les animaux actuels (Cf. 9. 42) p. 339

Tableau N°17 :

Diversité des vivants actuels et des fossiles du diaporama à propos du problème N°2 du questionnaire faisant émerger les conceptions initiales des élèves de 4^{ème} (Cf. 10. 12). p. 337

Tableau N°18 :

Diversité des argumentations de placement des dix êtres vivants sur la ligne du temps par les élèves de 4^{ème} (Cf. 10. 21). p. 349

Tableau N°19 :

Postures des élèves de 4^{ème} à propos du récit initial des histoires des vivants sur Terre – réponses initiales au problème N°2 du questionnaire, questions a / et b / (Cf. 10. 21). p. 352

Tableau N°20 :

Productions écrites des questions de chaque groupe de travail -Séance N°2- (Cf. 10. 22). p. 354

Tableau N°21 :

Extrait d'une controverse scolaire sur la parenté entre des fossiles d'animaux aquatiques et des animaux actuels terrestres, catégorisant les interventions des élèves selon la nature ou la fonction des arguments avancés (Cf. 10. 32). p. 367

Tableau N°22 :

Typologies des questions d'élèves explicitées lors de la controverse à propos de la succession et de la parenté des êtres vivants sur Terre (Cf. 10. 41). p. 372

Tableau N°23 :

Conceptions initiales anthropocentrées des productions individuelles d'élèves de 4^{ème} - Tendances finalistes pour la mise en histoire des êtres vivants sur Terre (Cf. 10. Cl.). p. 381

Tableau N°24 :

Les différents modes de pensée analogiste (Cl. IV). p. 450

ANNEXES

ANNEXES

Projet de classe et situation de débat en CM1 sur l'origine des fossiles

ANNEXE 1
MÉTHODOLOGIE de construction autonome d'une grille d'
ANALYSE DES CONCEPTIONS INITIALES
Préparation de la séance de CONFRONTATION

Remarque : le document initial est interactif, les zones grisées ouvrent des pages complémentaires.

Production attendue : une grille d'analyse des conceptions initiales²⁵⁵ grâce à la recherche autonome par l'enseignant des problématiques liées aux conceptions initiales.

Toute la difficulté réside dans l'organisation *à la fois*

- **spécifique et exhaustive** pour une classe de l'ensemble des propositions des élèves
- *mais aussi* construite en **critères génériques** pouvant être retrouvés pour la plupart dans un autre échantillon de classe.

Objectif : Ce travail et la production écrite résultante sont à destination de l'enseignant et non pas des élèves afin **d'optimiser la séance de confrontation des conceptions initiales** (temps et gestion d'un réel débat scientifique en classe).

Les étapes de la méthodologie

C'est une aide spécifique à chaque classe, et seul l'enseignant est habilité à le faire d'une façon autonome. Une gradation de ce travail est proposée.

La méthode globale s'apparente pour ses premières étapes à une méthode de comparaison avec un repérage des différences puis un regroupement des points communs ou inversement.

Remarque : Les trois premières étapes de la méthode d'analyse peuvent être menées simultanément

♦ **Première étape** : une liste exhaustive des conceptions initiales, spécifique de la classe

Par une première lecture, repérer **toutes** les différentes propositions dans les réponses des élèves sans en omettre une seule (parce qu'elle vous ennuie, car pour l'instant vous-même n'avez pas de réponse). Listez les **différentes idées spécifiques** des élèves (en gardant bien leur formulation de mot, de groupe nominal ou verbal) ...

♦ **Deuxième étape** : une catégorisation des conceptions initiales

...en les classant par **critères génériques** complémentaires ou opposés (en se détachant de leur formulation, une terminologie générique sera proposée).

Vous venez alors de regrouper en catégorisant les conceptions initiales qui présentent globalement les mêmes modèles explicatifs (idées globales de réponses des élèves) selon les différents axes de réponses. Ce qui induit que le **même document élève** peut être dans deux rubriques différentes, voire plus. Ou alors un document élève à lui seul constitue une **nouvelle rubrique** car aucun autre élève de la classe n'a proposé cette idée.

♦ **Troisième étape** : étude quantitative des désaccords

Une étude d'ordre quantitative statistique peut être menée des idées explicatives majoritaires et minoritaires :

- Cerner les points sur lesquels les enfants sont en **accord** et sur lesquels ils sont en **désaccord**.
- Les **erreurs** scientifiques les plus **fréquentes** aideront, par la suite, à cerner les obstacles principaux et les plus urgents à traiter.

♦ Quatrième étape : présentation du réseau des modèles explicatifs de la classe permettant de canaliser au mieux un questionnement d'élèves qui part dans toutes les directions lors de la séance de confrontation.

➔ organisation du classement des critères repérés lors de la deuxième étape.

L'objectif est de prendre en compte l'ensemble de **toutes les idées** en gardant les formulations d'élèves dans la mesure du possible. Ce repérage d'idées est différent d'une liste de mots associés. Ce peut être des mots ou des groupes de mots expliquant le phénomène étudié, en dépassant le stade descriptif. Les critères comme les sous-critères pourront garder la formulation des élèves ou être explicités d'une façon générique.

➔ Différentes présentations graphiques sont possibles pour cette organisation:

- soit un tableau à double entrée permettant une lecture croisée des catégorisations et des élèves concernés.
- soit une arborescence qui hiérarchise les critères proposés dans la classe et qui permet de se détacher de la conception initiale individuelle de chaque élève. Elle a l'avantage d'une visualisation du système explicatif de la classe.

♦ Cinquième étape : de la question initiale de l'enseignant aux questions des élèves

En corrélation directe avec les propositions divergentes repérées, **quelles questions sont susceptibles d'émerger dans la classe ?**

Elles peuvent être anticipées par l'enseignant non dans leur formulation exacte mais dans leur sens. Ce peut être des **questions ouvertes, réunissant les différentes propositions de plusieurs élèves pour un même critère** et globalisant le problème soulevé. Ou ce peut être des questions fermées, explicitées sous forme d'**hypothèses**. Il s'agit dans ce cas de modifier les explications proposées par les élèves sous forme affirmative (souvent avec certitude et argumentation de validation) à la forme interrogative. C'est un point de départ d'entrée en questionnement des élèves.

Le tableau précédent peut être complété de la façon suivante :

QUESTION INITIALE DE L'ENSEIGNANT Classe de Année scolaire	
Organisation des propositions hypothétiques des enfants	Les questions anticipées par l'enseignant en corrélation aux différentes hypothèses
- Premier critère premier sous-critère deuxième sous-critère - Deuxième critère premier sous-critère deuxième sous-critère troisième sous-critère - ...etc.	→ → → → →

Lors de la séance de confrontation collective dont l'objectif principal (à la fois pédagogique et scientifique) est de faire entrer les élèves en questionnement, la trace collective attendue pourrait être présentée sous cette forme.

♦ Sixième étape : analyse scientifique

- Analyser les erreurs et les qualités de ces propositions organisées dans le tableau. Du point de vue scientifique il y a validation par confrontation au savoir établi par la communauté scientifique actuelle.

Référez-vous :

- à la fiche de connaissances N°9 "Evolution des êtres vivants" (issue des *Documents d'application des programmes*. (2002) Paris, CNDP. p. 21)
 - des dictionnaires vous proposant une définition du concept de fossile
 - Foucault, A. & Raoult, J-F. (1995) *Dictionnaire de géologie*. Paris, Masson. p.124
 - ou encore un niveau de formulation adapté à l'âge de vos élèves.
 - Collectif (1995) Les fossiles in *La géologie à l'école(tome 2)*. CRDP Poitou-Charentes/ Quartz. p57-72
 - Collectif (1994) *Biologie et Géologie, cycle 1, cycle 2, cycle 3*. CRDP de Lille p. 71
 - Deunff, J. et Lameyre, J. et al. (1990, 1995) *Contribution à la définition de modèles didactiques pour une approche de la géologie à l'école élémentaire et dans la formation des maîtres*. Paris, Ministère de l'Education Nationale/Direction des écoles. CRDP de Poitou-Charentes p.81
 - Paccaud, M. & Vuala, J. (1999) Fossiles et fossilisation in *Biologie Géologie* Hatier, Paris. p. 400
- Puis écrire en caractère italique ou souligner d'une certaine couleur les conceptions erronées sur les graphiques précédents. Ecrire en caractère romain ou souligner d'une autre couleur les conceptions validées.

♦ Septième étape : analyse didactique

Quel est le point essentiel sur lequel bute l'explication des enfants ? Formulez le ou les obstacles principaux à dépasser pour votre classe.

♦ Huitième étape : choix de quelques conceptions initiales pour l'affichage et l'exploitation en classe

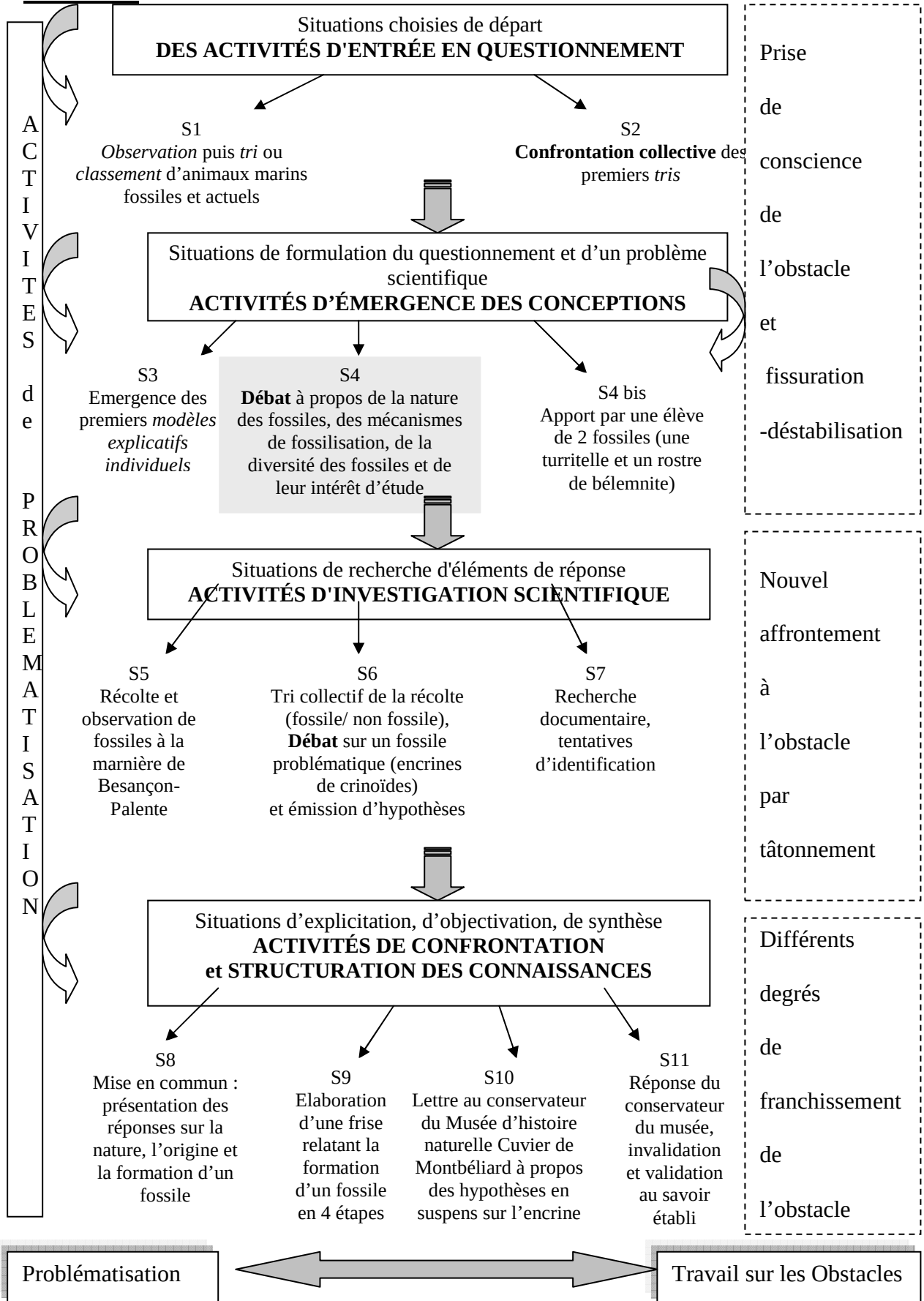
Lesquelles sélectionneriez-vous pour l'affichage au tableau lors de la séance collective de confrontation ? Cette démarche permettra d'éviter une séance de présentation de chaque production d'élèves.

Les accords et les désaccords, les erreurs scientifiques (fréquentes ou non dans cette classe) peuvent être les deux axes d'analyse qui permettront à l'enseignant d'orienter ses choix. Il anticipe ainsi la séance de confrontation avec le groupe classe en phase orale collective en choisissant des idées explicatives :

- soit parce qu'elles s'opposent
- soit parce qu'elles sont erronées
- soit parce qu'elles constituent un obstacle

ORGANIGRAMME DE LA SÉQUENCE EN SCIENCE - CM1- 2004-2005

ANNEXE 2



ANNEXE 3

SITUATION DE DÉPART : ANIMAUX MARINS ACTUELS ET FOSSILES

Remarque : le document initial est interactif, les zones grisées ouvrent des pages complémentaires.

Consigne :

"Regroupez les différents objets et dites pourquoi vous les mettez ensemble en donnant plusieurs renseignements et en étant le plus précis possible."

Matériel :

♦ 7 plateaux comprenant douze animaux numérotés pour faciliter la phase d'échanges entre les groupes d'élèves lors de la confrontation collective :

- première solution scientifique anticipée : les vivants fossiles / les vivants actuels
- deuxième solution scientifique anticipée : correspondant à un regroupement pour la plupart par paire, abordant une diversité des groupes de la classification d'animaux marins

Numéros des échantillons	"Je les regroupe(par deux)"	"Je dis pourquoi je les mets ensemble"
n°12 n°5	<u>CORAIL</u> (fossile) / <u>CORAIL</u> (actuel)	les urticants cnidaires
n°7 n°10	test d' <u>ETOILE</u> de mer (actuelle) test d' <u>OURSIN</u> (fossile)	Les piquants Echinodermes
n°2	<u>NATICE</u> (actuelle)	Les mous à une coquille enroulée Mollusques gastéropodes
n°6 n°11 n°3	<u>MOULE</u> (actuelle) <u>PRAIRE</u> (actuelle) <u>GRYPHEE</u> (fossile)	Les mous à deux valves Mollusques lamellibranches
n°4 n°8	Os de <u>SEICHE</u> (actuelle) <u>AMMONITE</u> (fossile)	Les mous ayant les pieds dans la tête Mollusques céphalopodes
n°9 n°1	<u>TEREBRATULE</u> (fossile) / <u>RHYNCHONELLE</u> (fossile)	Les mous fossiles à deux valves Brachiopodes

♦ Des feuilles préparées de format réduit facilitent le passage à l'écrit des élèves :

Je mets ensemble les numéros : Parce que :

Attention : Des justifications abstraites sont proposées très fréquemment dans un premier temps par les élèves, « ils sont pareils, ils se ressemblent » (ou par les stagiaires, « ils ont la même nourriture, le même milieu de vie ») ou alors un nom de groupe est plaqué. Dans ces cas il faudrait solliciter les élèves par des questions ouvertes pour qu'ils déclinent une argumentation par des critères plus précis et donc plus pertinents (critères morphologiques ou fonctionnels)

Remarques :

Dans la proposition initialement conçue la natice aurait du être associée à un autre gastéropode fossile, un cérithé. Ce coquillage fossile a été remplacé par une gryphée, choix moins judicieux au vu de l'analogie recherchée et des correspondances de classification animale. Mais cette modification est liée aux récoltes possibles dans la région de Franche-Comté et donc à la collection du laboratoire de l'IUFM de Besançon beaucoup plus riche en gryphée, fossiles abondants dans les terrains du jurassique. Alors que les cérithes, spécifiques des terrains tertiaires absents dans la région, étaient manquants de la collection. Nous sommes contraint entre deux logiques, une régionale et l'autre plus exhaustive. Nous avons préféré les objets familiers pouvant être récoltés par les élèves.

Critères obtenus dans la classe de CM1 :

Formulations d'élèves	Critères génériques
« on en trouve souvent /des choses rares » (récolte) ; « à l'intérieur, ça se mange/ peuvent s'ouvrir » (alimentation humaine)	rapport à l'Homme
« plat ; ont des creux ; coin ou collier (mal lisible) pointu ; coquillage ; coquille »	Forme
« lisse/ râpeux »	Texture/structure
« dur »	Dureté
« flotte/coule »	Densité
« coquillages, "mollux" , os de seiche, os de poisson »	Classification animale et dénomination
« viennent de l'océan ; dans la mer »	Milieu de vie
« peuvent se déplacer/ fixer »	Déplacement
« se nourrit de petits crustacés »	Nourriture
« êtres vivants/cadavres »	Vie
« ne sont pas en pierre/ animaux en pierre / devenant en pierre »	Minéral
« coquille non fossilisée ; pas fossiles/ ont fossilisé ; fossiles »	Nature Fossilisée ou non
« ça durcit au soleil »	Mécanisme de formation
« ce sont des choses préhistoriques ; animaux très anciens ; ils ont vécu il y a très longtemps ; ils ont des millions d'années »	Temps

Rq : cette valise pédagogique est mise à la disposition des stagiaires de formation initiale et continue. Elle existe en sept exemplaires et est empruntable au laboratoire de l'IUFM -57 avenue de Montjoux-25000 Besançon selon les modalités d'emprunt.

ANNEXE 4**TRANSCRIPTION DE LA SÉANCE DE DÉBAT EN CLASSE DE CM1**

École primaire Besançon-Helvétie - Classe de J.-P. Caré - 29 élèves
Séance N°4 (60 minutes) du 21 mai 2004 (Cf. Organigramme de séquence Annexe N°2)
 Séance de présentation et de confrontation de huit conceptions initiales d'élèves de CM1, à propos de fossile et fossilisation

Légende de la transcription

- E= élève et **P = professeur**
- (nombre) : numéro d'occurrence (apparition d'une unité linguistique dans le discours)
- (nombre') : temps écoulé de la séance
- // : couper la parole
- *en italique ou XXX*: à peine audible ou inaudible
- ... : silence

La transcription est découpée en sept phases correspondant aux changements d'élèves venant présenter leur conception initiale sur fossile et fossilisation.

Installation sur les tables des différents dessins avec un regroupement organisé.

1	P : La première question c'est qu'est-ce qu'un fossile et la deuxième, comment se forme le fossile. On va en discuter et essayer de comparer tout ce que vous avez fait. Dans un premier temps vous avez entre 5 et 7 minutes pour aller regarder toutes les feuilles qui sont sur les tables. Je les ai réunies, y'en a qui sont ensemble, y'en a qui sont toutes seules, vous regardez. Ca se passe dans le calme, vous en discutez avec votre voisin ou votre voisine, on lit rapidement et on passe au suivant. D'accord. C'est juste pour regarder ce que tout le monde a fait.
2	E : On retrouve notre feuille ?
3	P : On ne les touche pas. Ah non on lit. D'accord, on lit les feuilles exposées. c'est parti.
<i>Phase de groupes- passage vers les différentes tables</i> <i>Mise en place des élèves tous assis par terre dans la salle polyvalente sur plusieurs rangs face à l'enseignant et le rétroprojecteur puis l'affichage</i>	
4 (4')	P : Alors maintenant, ce qu'on va faire, je vais demander à certains d'entre vous, j'ai tiré des transparents de votre travail et vous allez venir expliquer aux autres ce que vous avez fait. On va le lire ensemble et vous expliquez ce que vous avez fait. D'accord, Et après on en discute, c'est pas du tout pour se moquer, pour dire c'est juste, c'est faux. C'est pas un problème... et on verra après si quand tout le monde aura travaillé, on aura terminé sur les fossiles on verra si c'était plus ou moins juste ou plus ou moins faux. Hugo, viens ici. Merci ...XXX Alors la première à qui je vais demander de venir, est Clara... Non mets-toi sur le côté... Chut
5 (5')	E (Clara) : <i>lecture de son document</i> Qu'est-ce qu'un fossile ? Le fossile est une pierre qui existe depuis longtemps//
6	E : Depuis quoi longtemps ?
7	P : Chut, chut !
8	E (Clara) : Comment se forment les fossiles ? Les fossiles sont formés avec des bouts de pierre blanche car les fossiles ont été faits par les préhistoriques à la préhistoire.

CLARA

9	P : Alors les autres ...qu'est-ce que vous en pensez ? ...
10	E : C'est quoi les préhistoris ?
11	E (Clara) : Heu...
12	P : Non ? Ben Pourquoi tu as dit ça ? Tu te rappelles ce que c'est les préhistoris ?
13	E (Clara) : Oui
14	P : Alors dit voir ?
15	E (Clara) : C'est les hommes qui vivaient y a longtemps.
16	P : Ah les hommes préhistoriques ? C'est ça ? Oui ?
17	E (Hugo) : Ben les hommes préhistoriques, <i>c'est pas</i> des préhistoris.
18	P : Elle s'est trompée c'est tout c'est pas bien grave.
19	E (Estelle) : Moi j'ai dit que à peu près XXX ben mais heu les fossiles y'en a pas plein parce que parfois ça existe pas depuis longtemps.
20	P : Pour toi ça n'existe pas depuis longtemps.
21	E (Hugo) : Pierre blanche, c'est pas obligé, ça peut être des pierres très très très foncées, ça peut être des pierres heu marron //
22	E : Ca peut être n'importe quelle pierre //
23 (6')	E (Hugo): Moi j'ai des fossiles où les pierres sont très très foncées.//
24	E (Vincent) : Mais Monsieur ?...
25	E (Hugo): Même ça peut devenir noir.
26	E (Vincent) : Les fossiles ça pas été au temps des hommes, des hommes heu de Cro-Magnon ? Parce que si ...c'est pas eux qui les ont fabriqués !
27	E : des hommes de Cro-Magnon.
28	E (Clara) : Ben euh ?
29	P : Et toi Clara, tu penses que ça peut être eux qui les ont fabriqués ?
30	E (Clara) : Ben oui.
31	E : Mais//
32	E : Non.
33	P : Oui, mais maintenant il faut donner des arguments. Elle, elle pense ça.
34	E (Vincent) : Mais aussi //
35	P : Armand ! Qu'en penses-tu ? ...Tu n'as pas d'idée Armand. Justine ?
36	E (Justine) : Oui mais aussi comment ils ont pu les fabriquer ?
37	P : A ton avis ? Clara comment est-ce qu'ils ont bien pu faire pour les fabriquer ?
38	E (Clara) : Ben je sais pas. XXX
39	P : Chut ! C'est Alice qu'a la parole. Alice !
40	E (Alice) : Ils auraient pu tailler la pierre !?
41 (7')	P : Ils auraient pu tailler la pierre ! Qu'est-ce que vous en pensez ? Mathieu ?
42	E (Mathieu) : Mais aussi ils peuvent pas tailler la pierre parce que desfois c'est un gros heu <i>beaucoup</i> desfois on voit que ça ressort et desfois c'est incrusté dans la pierre. Donc c'est impossible qu'ils le font. Et on a retrouvé des animaux qui vivaient à la préhistoire et ils étaient sur des fossiles...
43	P : Vincent ?
44	E (Vincent) : Mais heu mais comment ils ont pu disparaître ... les fossiles, ils peuvent pas les dinosaures, ils peuvent pas disparaître comme ça d'un coup ? !
45	P : Alors ? par rapport à ça ? ... Amélie qu'est-ce que t'en pense toi ? ... T'en penses rien ?
46 (8')	E (Hugo) : Mais heu ...les fossiles ça peut pas être les hommes préhistoriques qui les ont taillés, c'est les animaux qui ...au bout du temps ils ont été dans de la boue, ou de la terre, et pis à force elle a séché la terre et puis c'est devenu de la pierre et puis ils ont dû faire on sait pas comment mais ils ont, ils sont ... y a quelque chose qui fait qu'ils se sont incrustés dans la pierre. Et puis y a la trace dans la pierre...
47	P : Elle nous parle de boue aussi. De la boue et de la terre. Emma ?
48	E (Emma): Mais aussi c'est pas possible car les animaux ils sont pas petits comme sur la pierre pis après <i>aller</i> dans la boue parce qu'ils sont quand même plus gros qu'un caillou.

49	P : plus gros qu'un caillou
50	E (Antoine): Ca peut être des bouts de pierre et des bouts de pierre entière aussi ...pour former un fossile XXX
51 (9')	E (Vincent) : Les fossiles heu ils heu ils sont, aussi les hommes préhistoriques ils les ont fabriqué, ils les ont fabriqué pourquoi? Ils auraient pu les laisser <i>puisque</i> c'est eux qui les ont fait//
52	P : Alors, les autres //
53	E (Vincent) : Et pis aussi ils avaient d'autres préoccupations ils étaient pas assez intelligents pour pffff...
54	EEE : <i>rires</i>
55	P : Tu as une raison ? Clara, à ton avis pourquoi ils les auraient fabriqué selon toi ?
56	E (Clara) : Ben heuh....
57	P: Tu sais pas ?
58	E (Clara) : Non
59	P : Comme ça ? ...Vas-y... Hugo.
60	E (Hugo) : Mais heu les...Déjà ça peut pas être les hommes de Cro-magnon qui les ont taillés parce que ils ont pas assez d'expertise pour savoir bien tailler. Comme c'est rond et tout. Donc mais eux non plus. Ils peut-être... peut-être que comme ils étaient pas très très intelligents, ils prenaient, ils avaient un petit peu de terre, ils prenaient un animal et pouf ils l'écrasaient dessus. Et ça faisait des traces....
61 (10')	P : Attends, Rémi. Après ça sera Alice puis après Jacob. Rémi
62	E (Rémi): Moi je crois que les fossiles ils se sont fabriqués par eux-mêmes. Alors au début ils sont jeunes tout jeunes, pis ensuite ils commencent à vieillir de plus en plus, et quand ils sont morts et ben il reste plus que la coquille par exemple ammonite.
63	P : c'est les fossiles qui sont morts ?
64	EEE : <i>rires</i>
65	E (Rémi): Non mais si, si la bête à l'intérieur elle est morte et ben le fossile il reste, il reste plus que le fossile ... et pis ensuite sûrement quand ... quand le temps passe ça, 'y a plus d'eau après et ben ça doit se heu ... ça doit être heu ... ça doit se, comment je peux dire...
66	E (Armand) : Oui parce qu'en fait tu veux dire qu'y a la bête dedans pis qu'après comme ça clac. (<i>il aplatit ses deux mains l'une contre l'autre</i>)
67	E : XXX
68	E : Pis voilà
69	EEE : <i>rires</i>
70	P : Alice
71 (11')	E (Alice) : Moi je voudrais revenir à ce que dit Hugo, ça pourrait être faux. Parce que ils ont pu faire des fossiles, <i>ils ont bien fait</i> des pots pour faire de la nourriture, pour manger.
72	P : Tu penses que ça correspond la poterie, ils ont pu faire des fossiles parce qu'il savait faire de la poterie ?
73	E (Alice) : Non j'ai pas dit ça !
74	P : Ah bon.
75	E (Alice) : J'ai dit que ça aurait pu !
76	P : J'avais dit après Armand.
77	E : Jacob.
78	P : Jacob pardon, Armand après.
79	E (Jacob) : Ben les hommes préhistoriques ils ont pas pu les faire car sur les fossiles 'y a des détails des traits bien faits et pis les hommes préhistoriques ils savaient pas si bien faire que ça.
80	P : Pas si bien faire que ça. Antoine.
81	E (Antoine) : <i>Ben comme a dit XXX</i> moi je pense pas que c'est la bête qu'est au milieu pis que ça emboîte pa'ce qu'après on voit qu'ça ressort. Alors moi je pense que c'est

	une bête, elle est morte elle reste pendant des millions d'années sur une pierre et après elle s'incruste au fur et à mesure.
82	P : Armand ?
83 (12')	E (Armand) : Eh ben en fait si tu coupes un fossile en deux, on va p't-être trouver la bête morte !? (<i>geste</i>)
84	P : Au milieu ?
85	E (Armand) : Oui.
86	E (Emma) : Mais en fait comment ça prend la forme dans la pierre ?
87	P : Emma
88	E (Emma) : Non, c'est bon.
89	P : Mathieu
90	E (Mathieu) : Aussi 'y a plusieurs formes de fossiles. Ils peuvent, parce que sur la terre ils peuvent se former autrement que sur, dans la mer ! Dans la mer ils peuvent s'incruster dans le sable, le sable il durcit au cours des millions d'années et après ça commence à ... à devenir une pierre et après on le retrouve au fond de l'eau comme les amanites. Donc quand elles sont mortes elles s'enfoncent.
91	P : Vincent
92	E (Vincent) : Mais les fossiles 'y a dû y avoir un événement pour qu'ils disparaissent tous d'un coup parce que les humains aussi ça fait très longtemps qu'ils existent...Et ben ils sont pas tous morts et sont pas devenus des fossiles.
93	E (Hugo) : Mais y a eu une météorite qui est tombé sur la terre et //
94	E (Vincent) : <i>Quelle météorite ?</i> Oui mais ça comment tu peux le dire ?
95	E (Hugo) : Ca été, ça été prouvé scientifiquement !
96	E (Vincent) : Oui bon heu ...
97	P : Qu'est ce que tu appelles fossiles ?
98	E (Vincent) : Ben fossile c'est des, c'est des animaux qui sont morts à cause d'un... , tous morts en même temps à cause d'un événement.
99 (13')	P : Tous en même temps. Ils sont tous formés en même temps tu penses les fossiles ?
100	E : Non !
101	E (Vincent) : Non pas tous formés en même temps. // XXXX
102	E : Et ben le crocodile il vit <i>encore</i> XXX //
103	E (Vincent) : Non. Parce que maintenant ... Y en a qu'ont du survivre les fossiles parce que sinon y'aurait jamais plus de vie sur Terre.
104	E (Hugo) : Mais les fossiles //
105	P : Estelle
106	E (Hugo) : les fossiles c'est des animaux//
107	P : Estelle !
108	E (Estelle) : Je sais mais je m'en souviens plus dans les « Racines et les ailes » ben j'ai vu parce que 'y a des gens qui s'étouffent à cause de la lave et je sais plus. Et ben en Italie, je sais plus quelle ville, et ben à peine ils s'étouffent et après ils bougent plus. (<i>geste</i>)
109	P : Ah c'est le Vésuve (<i>en aparté à l'assistante de l'élève malentendante, Estelle</i>)
110	E (Estelle) : ... et ils restent hein ! comme une pierre.
111	P : Emma
112	E (Emma) : Mais aussi comment la bête elle fait pour s'incruster sur la pierre ?
113	E : Ben c'est ce qu'on pense hein!
114 (14')	P : C'est ce que vous pensez, je ne sais pas. Farès, t'as des idées ?...Non XXX Hugo pis après on va changer. On va demander à quelqu'un d'autre de venir. Chut !
115	E (Hugo) : Ben les fossiles d'ammonites par exemple, ils se sont formés parce qu'avant la Terre c'était presque une seule grande grande mer et ben les ammonites elles vivaient dedans, elles vivaient dans l'eau et après au bout des millions et des millions d'années 'y a la terre qui est remontée, et heu c'est devenu beaucoup plus haut, et après 'y a

	beaucoup moins de mer et puis les ammonites donc ‘y en a qui sont montées en haut. Et le sable c’est devenu une pierre.
116 (15’)	P : C’est le sable qui devient une pierre. On va passer au suivant (élève présentant). Tu sais il y aura encore plein de choses à demander. Pardon. Je vais demander à Margaux de venir. <i>Retour au calme et à l’écoute le temps du changement d’élève venant présenter</i> Alors, On écoute Margaux qui nous expose ce qu’elle a fait... Alors ... Mets toi sur le côté. Voilà ... Chut. Attends. Si il y en a qui passe tout à l’heure, on l’écouterà. Maintenant on écoute Margaux, vas-y Margaux

MARGAUX

117 (16’)	E (Margaux) : Qu’est-ce qu’un fossile ? Un fossile est un rocher dont il y a dedans une forme d’animal gravé. Comment se forment les fossiles ? Ben là heu ... Là c’est quand la terre elle va pousser un peu XXXX pis là plus autour, elle pousse XXXX et là c’est tout autour de l’animal.
118	E (Hugo) : Ben comment la pierre elle peut pousser sur l’animal ? Y’z’ont un organisme spécial pour que la pierre elle pousse sur l’animal, après la pierre elle pousse, elle pousse, elle pousse. (rires) Et en plus elle pousse. Ben c’est ce qu’y est marqué sur le truc !
119	P : Margaux. Et toi qu’est ce que tu en penses ?
120	E (Margaux) : Moi je vois qu’après ils sont morts. Après heu ... ‘y a, on peut dire des poussières, des//
121	E (Hugo) : C’est comme des graines de pierre.
122	E (Margaux) : Et pis après ça l’attaque, ça heu ... ça (geste d’enrober)
123	P : Ca le recouvre, ça l’attaque, ça fait quoi ?
124	E (Margaux) : Ca recouvre.
125	P : Ca recouvre, c’est le terme que tu cherchais... Hugo tu parlais des graines de pierre ?
126 (17’)	E (Hugo) : J’en sais rien. Heu ...P’té que l’animal, à force il a fait un petit spécimen comme ça !
127	P : Comment ça un petit spécimen comme ça ?
128	E (Hugo) : Oh ! J’en sais rien moi.
129	E : XXX
130	P : Estelle. Chut ! Oh les autres, s’il vous plaît !
131	E (Estelle) : Mais parce que ben c’est pas possible que ce soit un cheval !
132	E (Margaux) : Ben si les fossiles, les ancêtres... //
133	E : les ancêtres !
134	E (Margaux) : Les ancêtres des, de je sais plus quoi ...//
135	P : Oui, les ancêtres des chevaux, c’est ça que tu voulais dire//
137	E (Vincent) : Oui mais ça, c’était après les dinosaures. Parce qu’avant les dinosaures, c’était la préhistoire, les hommes préhistoriques.
138	P : Alors. Alors... Et alors à ce moment là, c’est possible que ça se forme comme ça ?
139	EEE : Ben non. Ben oui.
140	P : Chut !
141	E (Vincent) : Parc’qu’y a eu un gros événement pour que les fossiles y se forment.
142	P : D’accord.
143	E (Vincent) : Parce que sinon aussi, tous les dinosaures tous les animaux y seraient morts aussi ‘y aurait pu personne.
144	E (Hugo) : Et ben si ‘y a eu un grand événement pour les fossiles XXX //

145	P : Mais toi, tu as un événement à ce moment là pour les faire.
146 (18')	E (Hugo) : Mais si tous les animaux sont morts//
147	P : Non ? Je ne sais pas. Attends, Hugo. Vincent.
148	E (Vincent) : Ben c'est l'évolution qu'a fait les animaux comme ça. C'est ceux qu'ont survécu à la, à l'événement. Ils sont morts comme ça sur des pierres ou des trucs comme ça. Et pis après ils ont survécus, 'y avait plus qu'eux, ils ont évolué pour s'adapter à la nouvelle heu XXX.
149	P : D'accord
150	E (Hugo) : Maître, si 'y a eu un gros événement et que tous les animaux soient morts pourquoi les hommes sont-ils pas morts aussi ?
151	P : Parce que les hommes sont morts aussi ... tu penses ?
152	E (Vincent) : Oui
153	P : Ah mais je sais pas. Moi je//
154	E (Vincent) : Parce que sinon 'y aurait des fossiles d'hommes !
155	E (Hugo) : Ben c'est ce que je dis.
156	P : Des fossiles d'hommes ?
157 (19')	E (Vincent) : Ben là c'est des squelettes, mais là ils sont...
158	E (Mathieu) : Ben on en a trouvé à Pompéi. Hein !
159	E (Vincent) : Ben oui, mais là, c'était à cause de la lave !
160	P : Yvan, qu'est ce que tu voulais dire ?
161	E (Yvan) : Mais aussi les pierres, ça peut pas pousser sur heu les animaux ?!
162	P : Pourquoi ?
163	E (Carla) : Ben comme les plantes//
164	E (Yvan) : Ben parce que ça pousse pas les pierres.//
165	E (Margaux) : Mais j'ai pas dit qu'ça poussait les pierres//
166	E (Hugo) : Ben c'est pour ça. C'est comme ça. Oui j'ai dit comme ça en rigolant, des graines de pierre.
167	P : Ah c'était en rigolant que tu l'as dit ?!
168	E (Margaux) : Mais j'ai pas dit qu'ça poussait les pierres ; j'ai dit qu'y avait des p'tits, des p'tits//
169	EEE : Des p'tits animaux//
170	E : Ben euh. Des p'tits ...microbes.
171	P : Et toi les petites pierres, en fait ce sont des petits morceaux de pierre comme ça.
172	E (Yvan) : Ben non, en fait c'est p'tre du calcaire. L'eau qui lui tombe dessus, pis après ça devient du calcaire, pis ça devient de la pierre.
173	P : Ah vous avez entendu. Mathieu. Tu as entendu ce qu'a dit Yvan ? Tu peux répéter ? Non tu discutes. Vas-y.
174	E (Yvan) : C'est le résidu d'eau. Le résidu d'eau, pis ça devient dur, et pis ça fait comme de la pierre.
175	E (Vincent) : Du calcaire
176	P : Antoine
177 (20')	E (Antoine) : Mais pa'ce que un cheval, c'est assez gros pour se fossiliser, alors il faudra avoir beaucoup plus de temps. Les petites, moi je pense qu'y a que les p'tites. Qu'y a que deux, trois p'tites bêtes. Y a beaucoup de petites bêtes, qu'y a que les p'tites bêtes qui se fossilisent !
178	E (Hugo) : Ah non. Y a que des gros gros dinosaures//
179	E (Vincent) : Ouais ! Y a des énormes fossiles //
180	E (Hugo) : XXX // comme ça (<i>geste</i>)
181	P : Tu en connais ? Vincent ? Des énormes fossiles ?
182	E (Vincent) : Ben oui ! Y a des tyrannosaures qui sont fossilisés !//
183	P : Complet ?
184	E (Vincent) : Ben oui. Euh..//
185	E (Hugo) : Non.

186	E (Margaux) : Non pas complet !
187	P : Margaux
188	E (Margaux) : Parce que, ‘y a plusieurs morceaux, pis ‘y en a qui sont décrochés
189	E (Vincent) : Mais y sont décrochés à un seul endroit... parce ...que sinon ça peut pas faire un (<i>gestuelle pour un tyrannosaure entier</i>)
190	P : Rémi
191	E (Rémi) : Oui mais aussi dans une émission j’ai vu un ...un musée, ‘y avait un <u>gros</u> mammoth, qu’ils ont trouvé, qui a été fossilisé.
192	P : Complet ?
193	E (Rémi) : Complètement
194	E (Vincent) : C’est dans la glace ou//
195	P : Emma
196	E (Emma) : Oui mais aussi à ce compte là, si Margaux elle dit que la pierre elle pousse autour de l’animal, après l’animal, il est dans la pierre donc on peut pas le voir ?
197	E : C’est vrai ça
198	E : Non mais ils se dégradent
199	E (Hugo) : Ils se <u>biodégradent</u>
200	E (Vincent) : Biodégrade (<i>rire</i>)
201	P : Qui c’est qui se dégrade ? Chut ? Armand s’il te plaît ; Eh !
202	E (Vincent) : Biodégradables !
203	E (Margaux) : L’animal
204	P : L’animal se dégrade toi tu penses ? (à Margaux)
205 (21’)	E (Margaux) : Chais pas puisqu’il est mort.
206	E (Vincent) : Biodégrade
207	E (Hugo) : Oui mais les fossiles heu complets, il en a eu pas beaucoup dans toute l’histoire. Y en a eu, depuis qu’ils ont cherché les fossiles...y a eu que...que au moins, peut-être...dix, dix squelettes de gros dinosaures complets ou même pas, cinq squelettes de gros dinosaures complets depuis longtemps, parce qu’à chaque fois il manquait plein de pièces et ils ont du les faire en une boîte spéciale là....
208	E (Vincent) : Ben oui, mais comment ils ont eu le modèle ?
209 (22’)	E (Hugo) : Et ben...ils en ils en prennent, ils prennent un dinosaure, par exemple, et le squelette du dinosaure ; et pis après ils en trouve un autre de squelette mais peut-être qu’il est pas complet et donc après si heu ‘y a les pièces qu’y avait avant au dinosaure qu’il a trouvé, le deuxième dinosaure s’il y avait les pièces toutes les pièces de celles qui manquaient et ben ils les mettaient au dinosaure.
210	P : C’est des fossiles ?
211	E (?) : Ouais.
212	P : Encore. Puis après on va passer au suivant
213	E (Mathieu) : Aussi y’a plein d’hypothèses. Y a des scientifiques qui disent qui heu se forme comme ceci ou comme ça. Y a plein d’hypothèses...
214	P : Tu en connais des hypothèses, toi ?
215	E (Mathieu) : ... une !
216	P : Alors dis voir Celle que tu nous as dite toute à l’heure déjà, non ?
217	E (Mathieu) : oui
218	P : On passe au suivant. XXX Je vais demand // Ah dernière chose.
219	E (Vincent) : Mais euh si ils auraient pu trouvé que dix squelettes de dinosaures entiers, comment ils auraient pu voir qu’il y a <u>autant</u> de variété de dinosaures fossiles ?
220	EEE : Ah ! ah ! ?
221	E : Ben par les traces !
222	E : Mais les traces
223 (23’)	P : Alors Hugo selon toi ?
224	E (Hugo) : Scientifiquement ils ont prouvé.
225	EEEE : XXX

226	P: Chut ! Attends, Alice a une réponse ...Peut-être
227	E (Alice) : Par les traces qu'y avait dans les montagnes. J'ai vu à la télé qu'y avait des énormes traces des dinosaures.
228	E (Rémi) : Ah ouais !
229	P : Rémi
230	E (Rémi) : Ils ont trouvé une <u>grosse</u> trace de .. de diplodocus ...en heu ... en Australie ...'y a pas bien longtemps
231	P : Mais est-ce seulement des fossiles ?
232	E (Rémi): Hum ?
233	E (Antoine) : Ben <u>non</u> , c'est incrusté !
234	E : Ben si, ça fait une poussée //
235	P : Alors dis voir, Antoine.
236	E (Antoine) : C'est pas un fossile, parce que c'est juste la terre qui s'est enfoncée.
237	P : Alors la terre qui s'est enfoncée, c'est pas //
238	E (Hugo) : Ben si, c'est un fossile de <u>patte</u> de diplodocus
239	E (Antoine) : A moins que ça soit sur une pierre, alors c'est un fossile.//
240	E (Vincent) : Tellement ils étaient trop lourds, ils ont fait des traces.
241	P : Alors si c'est sur une pierre, c'est un fossile ?
242	E (Antoine) : Ben non pas obligatoirement. Parce que un fossile, moi je pense que c'est à l'intérieur et non pas dessus.
243	E (Emma) : Maître ?
244	P : Emma. Après on arrête. On change. ... non ?
245	E (Emma) : Oui, mais à ce compte là, si les pattes de dinosaures, elles se font sur la terre, à ce compte là, la Terre c'est un fossile !?
246	P : La terre est un fossile ?
247	E : Non (<i>rire</i>)
248	P : Pourquoi ?
249	E (Emma) : Parce que si 'y a les pattes qui s'incrudent dans la terre...
250	P : Oui ?
251 (24')	E (Emma) : Antoine il dit que forcément ça s'incruste dans heu les pierres ou dans les choses. A ce compte là, les pas quand on marche dans la neige, ça s'incruste, ben à ce compte là, la Terre c'est un fossile.
252	P : Ah la Terre est un fossile. Complète en fait ?
253	E (Antoine) : Ben non parce que 'y a rien. Ah si, 'y a une boule de feu au milieu.

FARES

254	P : Ca peut être une question aussi... J'aimerais bien Farès. Je ne lui demande pas son avis, je voudrais bien qu'il vienne. ... Chut ! Chut. Farès, vas-y.
255	E (Farès) : Qu'est-ce qu'un fossile ? Un fossile peut être un ... Un fossile peut être un ...(<i>rire</i>)
256	P : Et bien vas-y. Lis. Lis.
257 (25')	E (Farès) : Un fossile peut être un os de dinosaure par exemple.
258	P : Alors montre nous. //
259	E : Mais c'est pas un fossile !
260	E : Comment tu sais qu'c'est //
261	P : Mais alors qu'est-ce que c'est ? Chut Chut. Top top top, une seconde. Farès, qu'est-ce que c'est que tu as dessiné ?
262	E : Un os
263	P : Un os, d'accord.... Et ? C'est un fossile ? Ben je te pose la question. Si tu l'as mis, tu penses que c'est un fossile ?
264	E (Farès) : Pfeuh. Chais pas.
265	P : Et après tu nous montres dessous. Comment tu l'expliques. ...Comment se

	forme les fossiles ?
266	E (Farès) : Ils se forment euh ... dès qu'un animal est mort et ben
267	P : Un animal préhistoriques tu as mis !
268	E (Farès) : Est mort, chais pas, moi je dis qu'il s'enfonce dans la terre et pis <i>devient XXX</i> et en morceaux.
269 (26')	P : D'accord. Et alors les fossiles tu les montres maintenant.
270	E (Farès) : Ca c'est un poisson et ça c'est un os. Voilà.
271	P : D'accord. Et là, où sont les fossiles ? A quel moment c'est un fossile ?
272	E : Dès que...dès que l'animal meurt, il //
273	P : D'accord, dès que l'animal est mort. Les autres, qu'est-ce que vous en pensez ? Margaux ?
274	E (Margaux) : Oui mais si par exemple il vit dans la jungle, il va pas tomber dans l'eau hein ! (<i>rires</i>)
275	P : Alors ?
276	E : C'est de la terre
277	E : Ah, c'est de la terre !
278	P : Alice. Chut Margaux, Alice a une réponse peut-être
279	E (Alice) : Dans la vase
280	P : Dans la vase, elle dit Alice. Qu'est ce que vous en pensez ?
281	EE : Ben oui.
282	P : Quentin
283	E (Quentin) : Moi je pense que si 'y aurait un animal volant qui...comment il ferait pour rentrer dans la terre ?
284	E : Ben il tombe !
285	E : Il se scratche !
286	P : Vincent
287 (27')	E (Vincent) : Il se scratche. Il s'écrase, c'est toujours avec l'événement. Y a du avoir quelque chose et pis
288	P : Vous écoutez Vincent s'il vous plaît !
289	E (Vincent) : Pis toutes les bêtes sont mortes, à part quelques unes, pis même heu même les dinosaures à ailes ils se sont écrasés.
290	E (Hugo) : Les dinosaures à ailes ?
291	P : Margaux
292	E (Margaux) : Par exemple s'il tombe dans un arbre, comme l'a dit Antoine, et ben heu, et ben ...il va se dégrader et pis il va tomber dans la terre.
293	E (Hugo) : Mais 'y peut se relever hein !
294	E (Margaux) : Mais si il est mort !
295	P : Ben s'il est mort, elle dit ?
296	E (Hugo) : Sinon quand il vole avec son enfant, les animaux heu mammifères souvent les animaux à ailes c'est des animaux mammifères //
297	P : Alors tu peux m'en donner des exemples ?
298	E (Hugo) : Et pis donc ils... Oh moi j'en sais rien moi
299	P : Des mammifères, tu m'as dit, qui volent. Qu'est ce que c'est selon toi ?
300 (28')	E (Hugo) : Bien c'est des oiseaux ! Et pis il vole, il vole, il apprend à son enfant à voler, et pis il se prend une falaise, et pis il tombe et il est mort !
301	P : Et alors est-ce qu'il est dinosaure, Hugo, à ce moment là ? Est-ce qu'il est fossile, pardon ?
302	EE : Ben oui !
303	P : Chut, Justine.
304	E (Hugo) : Il se prend une pierre dans la tête, il tombe par terre, il s'enfonce dans la terre (<i>rires</i>) et pis
305	P : Ben c'est une idée, Rémi, écoute !
306	E (Hugo) : Il tombe dans la terre et pis comme il est un petit peu lourd, il s'enfonce. Et

	pis (<i>rires</i>), et pis et comme il s'est fait mal à la tête, ben il reste assez longtemps dans la pierre. Et pis il est mort j'pense, il est mort donc ça a le temps de fossiliser pis après voilà il est fossilisé. (<i>rires</i>)
307	P : Tu pense que c'est comme ça, peut-être. Vincent. Non attendez là stop. Rémi s'il te plaît
308	E (Vincent) : Il se dégrade pas, comme vous dites il se biodégrade pas, il se décompose
309	P : Alors ?
310	E (Vincent) : Il se décompose. Parce que les fossiles c'est comme les humains ça se décompose.
311 (29')	P : Alors un fossile ça se... Chut c'est intéressant, écoutez voir. Vincent me dit qu'un fossile se dégrade
312	E (Vincent) : Non, il se décompose
313	P : Se décompose
314	E (Vincent) : Oui se décompose
315	P : Alors dis voir. Explique voir.
316	E (Vincent) : Ben quand ça décompose, c'est des petites bêtes qui viennent enlever la peau, la chair, les boyaux, les intestins //
317	P : Oui, d'accord //
318	E (Vincent) : Et pis à la fin il reste plus que le squelette //
319	P : Oui plus que le squelette
320	E (Hugo) : Pis pour le squelette qu'est-ce qui se passe ?
321	E (Vincent) : Il rentre dans la terre //
322	E (Hugo) : Il se biodégrade !
323	E (Vincent) : Mais non ! Biodégrade c'est pour les paquets de jus de fruit !
324	E : Et pis d'abord, se biodégrade XXX
325	P : Stop doucement. Prenez la parole chacun votre tour
326	E : Il se dégrade
327	P : Mathieu
328	E (Mathieu) : Aussi quand ça se biodégrade, y'a plus un p'tit bout, c'est dégradé, y'a plus un p'tit bout. Que si heu ça décompose, ben ça décompose il reste de la poussière. .. Il reste toujours quelque chose, Il reste toujours un petit peu de poussière ou autre chose. Alors que si ça se biodégrade, ça //
329 (30')	P : Mais à quel moment le fossile se forme ? Mathieu ?
330	E (Mathieu) : Ben il se forme au bout de 100 ans !
331	P : Mais tu dis que ça se dégrade ?//
332	E (Hugo) : Oh ! Des milliards d'années, des millions et des millions et des millions...
333	P : Des millions d'années
334	E : Pas cent ans hein !
335	P : Maintenant, c'est Quentin. On écoute Quentin //
336	E (Quentin) : Quand on se dégrade c'est que, c'est la nature qui se dégrade
337	P : Oui, Vincent
338	E (Vincent) : Mais se biodégrade c'est pour les paquets de jus de fruit !
339	EEE : <i>rires</i> XXX
340	P : Dégrade, biodégrade, on va dire dégrade dans ce cas là
341	E (Vincent) : XXX Dans les paquets qu'on achète c'est marqué biodégradable dessus
342	P : Yvan. Chut.
343	E (Yvan) : Les oiseaux c'est pas, c'étaient pas des mammifères, ça fait des œufs
344	E (Hugo) : Si ! 'Y a des mammifères - oiseaux !
345	E (Yvan) : Oui mais 'y en a pas beaucoup
346	E (Vincent) : C'est des dinosaures qu'on donné des mammifères.
347	P : Tu en est sûr ?
348	E (Hugo) : Oui mais des oiseaux du temps des dinosaures, des gros gros oiseaux (<i>geste de voler</i>)

349 (31')	P : Ben ça sera ton travail de rechercher ça : la différence entre oiseau et mammifère... Hugo tu mets ça dans ta tête. C'est toi qui t'en occupes. Oiseau, mammifère. Tu fais la différence entre les deux.
350	E (Hugo) : Oh non.
351	P : Merci Hugo
352	E (Hugo) : je me mets avec quelqu'un, je me mets avec Vincent !
353	P : Stop on change. On va passer à quelqu'un d'autre.
354	E : Laura. Laura

XAVIER

355 (31')	P : C'est Xavier. On ne voit pas très très bien, j'ai du foncer au maximum. . . Chut ! ... Xavier, vas-y.
356	E (Xavier) : Qu'est-ce qu'un fossile ? Des bouts d'animaux dans la pierre. Comment se forme un fossile ? Quand il meurt durant des années XXX les recouvre de pierres.
357	P : Alors ... Tu nous expliques... Tu as quelque chose à mettre d'autre, à dire ? ... Les autres qu'est-ce que vous en pensez ? ... Est-ce que c'est la même chose que tout à l'heure ?
358	E (Hugo) : Il a fait une faute à pierre
359	P : Oui mais ça ! Jacob tu lui dis non ! Non pourquoi ? Par rapport à tout à l'heure, quelle est la différence ?//
360	E (Jacob) : Ben ...
361	P : Tais-toi c'est Jacob qui parle ... Tu trouves. Tu réfléchis. Je te réinterroge dans trente secondes. Quelqu'un a quelque chose à dire ?
362	E (Jacob) : Oui
363	E (Hugo) : Mais là il répond par des phrases alors que tout à l'heure 'y avait un dessin.
364 (32')	P : Oui, mais c'est pas grave ça.
365	E : C'est pas pareil !
366	P : Oui mais moi je te parle dans la réponse qu'il amène aux deux questions. Margaux.
367	E (Margaux) : Il dit la même chose
368	P : Alors quelles mêmes choses, dis voir ? Avec qui ? par rapport à qui ? Il dit la même chose par rapport à qui ?
369	E (Margaux) : Il dit la même chose que Clara parce qu'il dit que c'est dans la pierre hein//
370 (33')	P : Oui il parle de pierre et puis//
371	E (Vincent) : Pareil que toi, pareil que toi, et que toi.
372	E (Margaux) : Non, moi j'ai dit un rocher
373	E (Vincent) : Le rocher, c'est la pierre
374	E (Hugo) : Elle a dit le rocher
375	E : Moi j'ai dit pierre
376	E (Vincent) : Le rocher c'est la pierre aussi
377	P : Alors par rapport à ça tu dis que c'est pareil qu'elle. Pareil que Margaux.
378	E (Vincent) : Ben parce que c'est pareil. Les fossiles, ils sont incrustés dans la pierre.
379	P : Bien, c'est comme disait Margaux.
380	E (Hugo) : Des bouts.
381	P : Quelque chose à dire là, des morceaux d'animaux. Tu nous expliques ? Des morceaux d'animaux.
382	E (Xavier) : C'est quand ils sont morts heu XXX
383	P : Plus fort
384	E (Xavier) : C'est quand ils sont morts, 'y a plus que des parties qui se fossilisent.
385	P : Alors tu penses qu'il n'y a que des parties qui se fossilisent. Ca, c'est ce que disait ... ? Qui est-ce qui disait ça tout à l'heure ?

386	E : De quoi ?
387	P : Qu'il n'y avait que des parties qui se fossilisaient.
388	E : C'est pas moi
389	E : C'est Vincent
390	EEE : XXXX
391 (34')	E (Vincent) : Parce que c'était pareil, c'était pareil
392	EEE : XXXX Ah ça c'était Vincent
393	P : C'est bon on passe au suivant. Ben c'est Hugo
394	E (Vincent) : Oh non !
395	EEE : <i>rires</i>
396	P : Chut ... Vincent !... Allez vas-y Hugo. Vas-y !

HUGO

397	E (Hugo) : Qu'est-ce qu'un fossile, j'ai mis une pierre avec une trace d'animal.
398	P : Oui
399	E (Hugo) : Et pis après, comment se forme un fossile ? C'est un animal, avec le temps, la terre est venue sur lui, pis ça a durci par le temps.
400	P : Oui, et puis qu'est-ce que t'as rajouté ?
401	E (Hugo) : Trois millions d'années
402	P : C'est trois millions ça ? //
403	E : Hugo tu pourrais lire là
404	E : Trois milliards
405	P : Trois milliards d'années !
406	E (Vincent) : Heu, heu ... Mais la terre elle se déplace comment ?
407 (35')	E (Hugo) : Mais non c'est pas la terre qui se déplace, c'est que lui ! C'est comme j'avais dit avec l'oiseau. Il se prend le rocher dans la tête et pis il tombe, et pis comme il tombe la terre elle vient sur lui au bout d'un moment. Donc après ça fait un fossile.
408	P : D'accord. Voilà. Les autres, qu'est ce que vous en pensez ? Antoine
409	E : Mais non
410	P : Farès, vas-y voir, vas-y voir, répète voir
411	E (Farès) : Non
412	P : Mais si tu as dit quelque chose. Tu as parlé des dinosaures c'est ça
413	E : Ah oui, je sais !
414	E (Farès) : Les dinosaures, ils vont pas se prendre la tête dans un mur
415	E (Hugo) : Mais aussi c'était un exemple.
416	P : Un exemple. Antoine.
417	E (Antoine) : Mais aussi la terre, comment ça peut être de la pierre après ? Comment la //
418	E (Hugo) : Ben la terre au bout de millions, millions d'années, si déjà dès deux heures elle est hyper dure, ben au bout de millions d'années qu'est-ce que ça va faire !
419	P : C'est la terre qui se transforme en pierre alors ?
420	E (Hugo) : Ben oui !
421	EEE : XXX C'est magique. C'est magique.
422	P : Chut, Margaux
423 (36')	E (Margaux) : Peut-être que plutôt dans un rocher, on pourrait ... il pourrait très bien se faire attaquer par un ... par un ennemi. Il le mange, pis après l'autre...l'autre//
424	E : Mais c'est les os//
425	E (Margaux) : Les os, ils ...ils sont fossilisés//
426	P : Les os uniquement ?
427	E (Margaux) : Non les autres parties aussi
428	P : D'accord les autres parties.
429	E (Vincent) : Vu que c'est un squelette, c'est les os hein ! <i>P'tre les boyaux aussi ?</i>

430	E : Non, ben non.
431	E (Vincent) : Ben t'enlèves ta chair et tes boyaux, on verra hein !
432	P : C'est la question qu'on peut se poser. Par rapport à Farès tout à l'heure : est-ce que les os sont des fossiles ?
433	E : Ben non, pas obligé.
434	E (Vincent) : C'est un fossile de squelette. Mais un fossile, c'est un squelette aussi. Et pis un squelette c'est des os.
435	E : Non
436	P : Forcément un squelette ?
437	E Antoine) : Maître ! //
438	E (Vincent) : Pas forcément un squelette, la coquille aussi desfois, la coquille.
439	E (Antoine) : Maître ! ... Par rapport à Vincent, ça peut pas ... moi je pense pas que ça peut être l'os, un fossile parce que//
440	P : Antoine//
441 (38')	E (Antoine) : A l'intérieur soit c'est vide, soit 'y a un truc. Y a rien, 'y a pas quelque chose de particulier. 'Y a pas de p'tites bêtes qu'on voit, rien.
442	P : Hugo qu'est-ce que tu en penses toi ?
443	E (Hugo) : Rien, rien, rien.
444	P : Mathieu ?
445	E (Mathieu) : Un fossile... les fossiles ah....
446	E (Estelle) : XXX marche
447	E (Mathieu) : Ah ouais les os peuvent être fossiles, il peut y avoir plein de sorte de fossiles
448	E (Hugo) : Mais comment ? Comment il peut, c'est vrai qu'il peut se faire manger le dinosaure. Mais oui, mais comment.... les dinosaures, les dinosaures ils, quand ils mangent, ils font pas comme on voit parfois, ou ils prennent l'autre, ils jettent que les os, ils jettent par terre, ils mangent, ils laissent les os et leurs organes tout ça.
449	P : Oui mais alors quel rapport avec les fossiles ?
450 (38')	E (Hugo) : Et ben que 'y a ... c'est pas les os tout de suite, c'est pas les os tout de suite qui vont faire le fossile. C'est ... Déjà 'y a les organes tout ça tout ça qui vont se dégrader
451	P : Oui
452	E (Hugo) : Et pis à force, ça va faire des os et puis heu
453	P : Et puis ?
454	E (Hugo) : Et puis après ça va faire des fossiles
455	P : Comme ça ?
456	E (Hugo) : Oui
457	P : Avec le temps uniquement ?
458	E (Hugo) : Ben oui avec le temps.

LAURA

459	P : Je voudrais bien voir Laura, sil te plaît.... Chut...Vas-y.
460	E (Laura) : Qu'est ce qu'un fossile : un fossile est un animal très ancien qui a été ...collé sur de la pierre comme ceci.
461	E : Collé !
462	E : Collé ! ... Avec de la colle ?
463	P : Comment ils se forment ? Chut
464	E (Laura) : Comment ils se forment : les fossiles se forment dans une pierre et grandit et pis ça donne ça dans l'ordre XXX
465 (39')	P : D'accord. Alors tu m'expliques ! ...Le fossile se forme déjà dans une pierre puis grandit... Attend, elle nous explique, une seconde. Vas-y Laura.
466	E (Laura) : Le fossile se forme dans une pierre.

467	P : Comment est-ce qu'il se forme déjà ?
468	E (Laura) : Ben il se forme en... en ...il se forme heu... <i>il se forme</i> ...parce que heu...parce qu'ils ont commencé à être accrochés donc après ils ont...ils ont, ils arrivent pas à se décoller donc après ben ça devient un fossile
469	P : Et pis ...grandit ? Qui est-ce qui grandit ?
470	E (Laura) : Ben la pierre.
471	P : D'accord, comment est-ce qu'elle fait ?
472	E (Laura) : Ben puisque le fossile il, la pierre elle grandit, pis l'animal il grandit donc le fossile, il grandit avec.
473	P : D'accord. Donc en fait le fossile grandit avec l'animal
474	E (Vincent): Mais non ! Mais l'animal, vu que mais vu qu'il est mort quand il devient fossile, ça peut... il peut pas grandir !
475	P : Est-ce que tu penses qu'il est mort quand il devient fossile?
476 (40')	E (Vincent): Ben il peut pas grandir parce qu'il a plus de croissance, il ne mange plus rien ! ...Il peut plus se déplacer donc il trouve pas les éléments qu'il lui faut pour manger et donc il peut pas grandir !
477	P : C'est une question. Yvan. Tu avais levé la main. Non, c'est fini. Qui est-ce qui a quelque chose à dire là dessus ? Emma
478	E (Emma) : Aussi je suis pas d'accord avec Vincent. Il est mort mais il peut comme il est trop serré, il est par exemple trop gros par rapport à la pierre. Et pis elle s'écarte. Et bien ...après la pierre elle commence à éclater et il peut sortir.
479	E (Vincent): Eclater ?
480	E (Emma) : Non pas éclater mais ...grossir
481	P : Qu'est-ce qui grossit alors dans ce cas-là?
482	E (Emma) : Ben la pierre et l'animal ! Enfin pas l'animal.
483	P : L'animal qu'est dedans il peut encore grossir ?
484	E (Emma) : Enfin pas grossir mais ... Comme il est, il se trouve pas assez bien dans la pierre, bien il essaye de se remettre un peu mieux enfin sans être vivant.
485	P : Sans être vivant ! Et il bouge ?
486 (41')	E (Emma) : ...Si
487	P : Oui ? Non ? ...Alors ?
488	E (Alice) : C'est un peu comme les fruits comme quand ils ont été cueillis, ils peuvent encore mûrir et du coup ils peuvent peut-être encore ben...Comme ils sont conservés dans la pierre
489	P : Tu as entendu, Mathieu, tu as entendu ? Comme il est conservé dans la pierre...il peut encore...
490	E (Alice) : XXX il peut p'être encore grandir parce que 'y a pas les bactéries, les XXX
491	P : Il peut encore grandir. Qu'est ce que vous en pensez ? Mathieu, qu'est-ce que tu en penses ? ... Hugo
492	E (Hugo) : XXX Mais un fossile ...aussi son fossile là avec deux deux petites vagues et puis un S, ça représente quoi aussi ?
493	E XX : deux petites vagues ?
494	P : Ca veut dire quoi ?
495	E (Hugo) : Ca, ça, c'est quoi ? T'as recopié sur quelque chose ou heu ?
496	E (Laura) : Non
497 (42')	E (Hugo) : Alors t'as inventé !
498	P : Alors ?
499	E (Hugo) : Alors !
500	P : Estelle
501	E (Estelle) : C'est pas possible qu'un fossile grandisse
502	P : Pourquoi ?//
503	E : Ben si, un fossile ça peut grandir
504	E (Estelle) : L'animal et le fossile, quand la pierre vient et bien après il ne bouge plus

	alors il ne peut pas grandir parce qu'il est déjà mort !
505	P : Tu penses que quand il est mort, il ne peut plus grandir//
506	E (Estelle) : oui
507	P : Yvan
508	E (Yvan) : Comme il ne peut plus grandir, si il est dans la mer, le sel, il peut prendre le sel, pis comme la mer elle s'est un peu en allée avec quand il pleut il reste des résidus de calcaire pis d'autres matériaux qui sont dans l'eau et pis ça fait de la pierre. Comme les stalactites dans les grottes.
509	P : Comme les stalactites, bon. Je ne sais pas. Peut-être.
510	E (Mathieu) : Oui parce qu'une fois aux grottes d'Osselles et bien dans une stalactite où t'avais un petit heu, un p'tit animal dedans qui était fossilisé.
511 (43')	P : Et à chaque fois c'est les stalactites en fait ? Et à chaque fois qu'il y a une stalactite il y a un fossile ?
512	E (Mathieu) : Ah ben non !
513	P : Ah ben je pose une question !
514	E (Mathieu) : Non 'y en a quelques unes. Quand quand ... Ils peuvent mourir à un endroit où c'est une stalactite qui peut se former. Ils peuvent mourir pile... tout ça. Ben la stalactite elle peut se former dessus.
515	P : Et c'est là qu'elle forme un fossile ?
516	E (Mathieu) : (<i>acquiescement</i>) Mmm
517	E : Par contre les stalagmites

CARLA

518	P : Je veux voir une dernière personne... C'est Carla
519	E : c'est Carla
520	E : c'est Carla
521	P : Allez, Vas-y Carla. Chut on écoute, c'est la dernière personne qui parle. Et après on listera toutes les questions qui peuvent se poser.
522	E (Carla) : Un fossile est un animal, une plante qui a plusieurs années de fossilisation.
523	P : Tu nous expliques un peu ton schéma
524	E (Carla) : Alors en fait heu... Cela là, j'ai représenté comme un coquillage XXX qui s'est mis dessus. Puis là il est sous la terre pis p'tit à p'tit ben la terre va durcir et ça va faire un fossile
525	E (Hugo) : Maître, maître ! ? ... Mais la pierre elle tombe du ciel ? (<i>rires</i>)
526	P : Elle va nous expliquer
527	E (Hugo) : Ben elle, elle dit que la terre elle tombe, qu'elle tombe la terre.
528	P : Alors explique-nous voir Carla.
529	E (Carla) : Par exemple elle est sur une montagne pis elle tombe. La <i>terre-pierre</i> elle tombe.
530	E : Là c'est des rochers hein!
531	P : Alice
532	E (Alice) : Ben c'est pas tout le temps une montagne. Ca pas rester comme ça c'est pas aussi XXX
533	P : Et toi Carla qu'est-ce que t'en penses ?
534	E (Carla) : ben heu chais pas
535 (45')	P : Les autres ? !
536	E (Hugo) : Maître ! La terre qui tombe d'une montagne, c'est des rochers. Après si ça tombe une ammonite et ben le... un seul rocher ça va tout écraser l'ammonite et après y aurait pu d'ammonite aussi. Donc heu ça va plus être un fossile.
537	P : Alors ?
538	E (Vincent) : La coquille écrabouillée (<i>rires</i>)
539	P : Alors dis voir qu'est-ce qui peut lui arriver XXX ?

540	E (Vincent) : Ben par ce que déjà l'ammonite ça peut pas être sur la terre
541	P : Pourquoi tu dis ça ?
542	E (Vincent) : Ben parce que l'ammonite ça vit dans l'eau //
543	E (Hugo) : Mais, mais ! ... Avant avant avant avant la Terre c'était comme une grande mer d'eau salée et donc ...
544	E (Vincent) : Mais non parce que sinon comment ça s'est fabriqué sinon la terre ?
545 (46')	E (Hugo) : la terre XXX l'eau XXX et ça s'est transformée en pierre
546	E (Vincent) : Oui mais là elle est où l'eau ? (<i>s'adresse à Clara et à son dessin</i>) ... Oui mais si elle s'évapore, l'eau elle va dans les nuages puisqu'elle s'évapore
547	E : Ben non !
548	E : L'eau ça peut pas voler hein !
549	E (Vincent) : En fait au début 'y avait un énorme continent //
550	P : Vous écoutez Vincent s'il vous plaît. Chut.
551	E (Vincent) : En fait avant 'y avait un énorme continent pis 'y avait un astéroïde qui s'était écrasé pis qu'a dissout la heu terre en plusieurs continents XXX
552	P : A ce moment là, ça s'est formé. Et les fossiles ?
553	E (Vincent) : Donc les fossiles, ça s'est formé quand 'y avait eu l'astéroïde
554 (47')	P : D'accord. Et qu'à ce moment là ?
555	E (Vincent) : Ben heu ... Oui
556	P : D'accord
557	E (Vincent) : L'astéroïde quand 'y a un impact, un énorme impact sur la terre, ça dure, 'y a le souffle, ça fait comme une explosion au départ. Parce que le, l'astéroïde pis aussi il a pris la vitesse, en entrant dans l'air de la Terre, il est allée tellement vite, ça a fait une boule de feu et pis 'y a la Terre qui s'est soulevée, écrasée, qu'est allée sur les fossiles.
558	P : On essaye de lister un petit peu tout. On va essayer de retrouver toutes les idées qu'on a trouvées ensemble. Toutes les idées que vous avez eues. Hugo, on est là maintenant. On va essayer de retrouver tout. Je vais simplement mettre les noms les uns en dessous des autres.

Trace écrite de la dernière phase collective de la séance
gérée en un temps de structuration

QU'EST-CE QU'UN FOSSILE ?	COMMENT SE FORMENT LES FOSSILES ?	TEMPS POUR QUE LE FOSSILE SE FORME
- animal mort - animal en pierre - plante - animal assommé <i>qui se réveille dans la pierre</i> - squelette de dinosaure (<i>tête de dinosaure</i>) - os de dinosaure - crottes de dinosaure - empreintes de végétation (<i>plantes préhistoriques</i>) - œufs de dinosaure	- avec de la terre - calcaire + eau - lave de volcan - vieillesse - pierre qui prend la forme de la carcasse - empreinte sur la terre quand la coquille s'en va	- 1 jour - 3 000 000-années - 100 ans - 1 an - 1005 années - des milliards d'années - pendant la préhistoire - ça dépend si c'est gros ou non (1000 ans –3000) - selon le moment de la mort

- ce qu'a dit l'élève
- ce qu'a dit l'élève et ce qu'a noté l'enseignant

Projet cadré pour les séances suivantes :

559 (59')	P : Ca les affiches, on va les prendre, on va les monter en classe. Et maintenant notre travail ça va être quoi ?
560	E : de répondre aux questions !
561	P : Est-ce qu'il y a des questions là ?
562	E : Ben non, de vérifier les réponses.
563	P : De vérifier tout ce qui a été noté là. Est-ce qu'on pense des choses pas très justes ou des choses justes. On vérifiera la prochaine fois. Merci. On repart en classe.

ANNEXE 5**CONCEPTIONS INITIALES D'ÉLÈVES DE CM1
SUR L'ORIGINE, LA NATURE ET LA FORMATION DES FOSSILES**

Annexe 5A Conception initiale de Clara - CM1

Clara

1) Qu'est-ce qu'un fossile?

Le fossile est une pierre qui existe depuis longtemps.

2) Comment se forment les fossiles?

Les fossiles sont formés avec des bouts de pierre blanche car les fossiles (pierre) ont été fait par les préhistoriens à la préhistoire.

Verso

Est-ce que tu connais d'autres fossiles que ceux que nous avons vu la dernière fois ?

La dernière fois nous ^{avons} expliqué comment
 était fabriquer les fossiles. On a aussi
 expliqué plusieurs choses

Voici un exemple :

L'étoile de mer est dans l'eau.

A ton avis, à quoi sert aujourd'hui l'étude des fossiles ?

Les fossiles sert à savoir comment

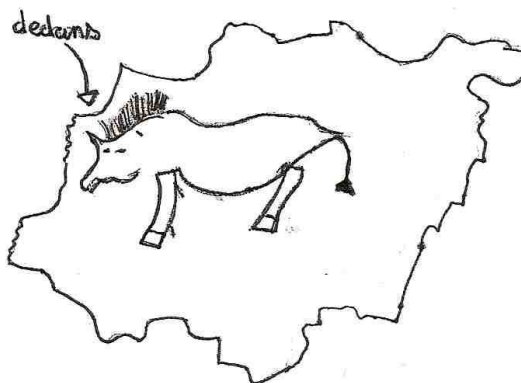
sont fait les pierres et aussi pour qu'on
 ont ils fait des pierres à la préhistoire.

Annexe 5B Conception initiale de Margaux –CM1

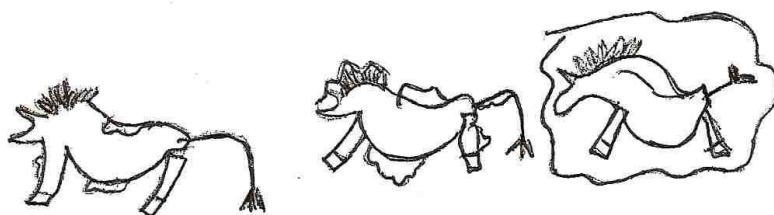
Margaux

1) Qu'est-ce qu'un fossile?

Un fossiles est un rochet dont il ya dedans une forme d'animal gravee.



2) Comment se forment les fossiles?

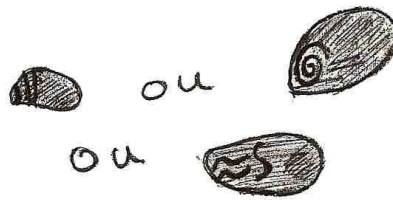


Annexe 5B Conception initiale de Laura - CM1

Laura

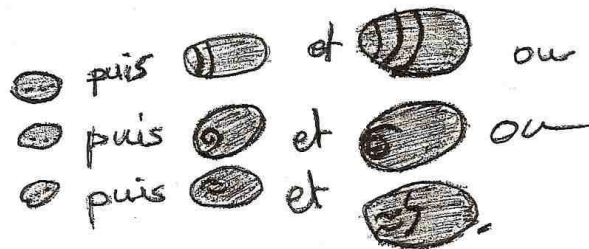
1) Qu'est-ce qu'un fossile?

Un fossile est un animal très ancien qui a été collé sur de la pierre comme ceci.



2) Comment se forment les fossiles?

Les fossiles se forment déjà dans une pierre puis granodiorite est sa forme ça je vous le dit dans l'ordre (dessin).



ANNEXE 6**ÉCHANGES ÉPISTOLAIRES ENTRE LA CLASSE DE CM1 ET LE
CONSERVATEUR DU MUSÉUM CUVIER DE MONTBÉLIARD**

Annexe 6A

Classe de Mr Caré
CM2
1 avenue d' Helvétie
25 000 Besançon

Besançon le 8 octobre 04

Monsieur,

Nous sommes les élèves de la classe de CM2 de l'école Helvétie. L'année dernière, nous avons travaillé sur le thème des fossiles. Nous n'arrivons pas à nous mettre d'accord sur certains échantillons que nous vous envoyons. Voici nos différentes hypothèses :

- un bout de fer
- un fossile (Ptilodictya ou Lépadocrinites)
- une plante
- du corail
- une colonne vertébrale
- des insectes bizarres
- un silex
- un os
- une vertèbre
- des pièces de machine jetées
- un animal qui avait du fer sur lui

Pouvez-vous nous aider ? Merci d'avance.

Veuillez agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

La classe de CM2

Mathieu B
Largaux
Hanon
Hugo
Clara
Leslee
Jade
Eloa
Jacob
Quentin
Florian
Vincent
Larès
Ivan

Annexe 6B

Service MUSEES

Ville de Montbéliard

Le 28 octobre 04

Affaire suivie par : **Thierry MALVESY**
RESPONSABLE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
Tel : 03 81 99 23 82
V/Réf. :

La classe de M. CARE
CM2
1 av. d'Helvétie
25000 BESANÇON

Objet : vos fossiles « énigmatiques »

Monsieur Caré, les enfants du CM2,

Tout d'abord je vous remercie pour la confiance que vous accordez au muséum Cuvier et à moi-même pour la détermination des fossiles. Votre démarche est exemplaire et scientifique.

Sachez que les fossiles que vous m'avez envoyé sont :

des encrines de crinoïdes

Les crinoïdes sont des animaux marins (qui existent toujours) qui appartiennent au même groupe que les oursins et les étoiles de mer : **les échinodermes**.

Ce groupe est souvent caractérisé par une symétrie 5 (regardez bien la section des fossiles, il y a 5 côtés ou 5 branches quand ils sont en forme de petite étoile).

Bien sûr, ces fossiles ne sont pas complets ; il s'agit seulement d'un fragment de l'animal (voir dessin au dos).

Je pense qu'ils sont pyritisés (c'est à dire en sulfure de fer). En effet, après la mort de l'animal et l'enfouissement des parties dures (les encrines), puis après la fossilisation (sur les milliers d'années), il arrive parfois que des atomes de fer présents dans des eaux d'infiltration, viennent remplacer les atomes de calcite (qui forment le calcaire), présents à l'origine dans l'animal.

Ces échantillons proviennent sûrement des environs de Besançon car dans mes collections et dans l'ouvrage « les fossiles de France » on trouve les mêmes, avec l'indication de Besançon comme lieu de découverte.

Ils s'agit donc de *Millericrinus milleri* ou *Pentacrinus pentagonulid* (deux formes très proches). Ces noms sont les appellations scientifiques qui permettent à tous les savants du monde entier de parler de la même chose. Ils sont composés d'un nom de genre (le 1^{er}) et d'un nom d'espèce (le 2^e). Ils sont en latin ou en grec. Par exemple, nous humains, nous nous appelons *Homo sapiens*.

Ces fossiles sont datés du jurassique supérieur et plus exactement de l'**oxfordien** : c'est à dire qu'ils ont un âge de **150 millions d'années** !

Thierry Malvesy



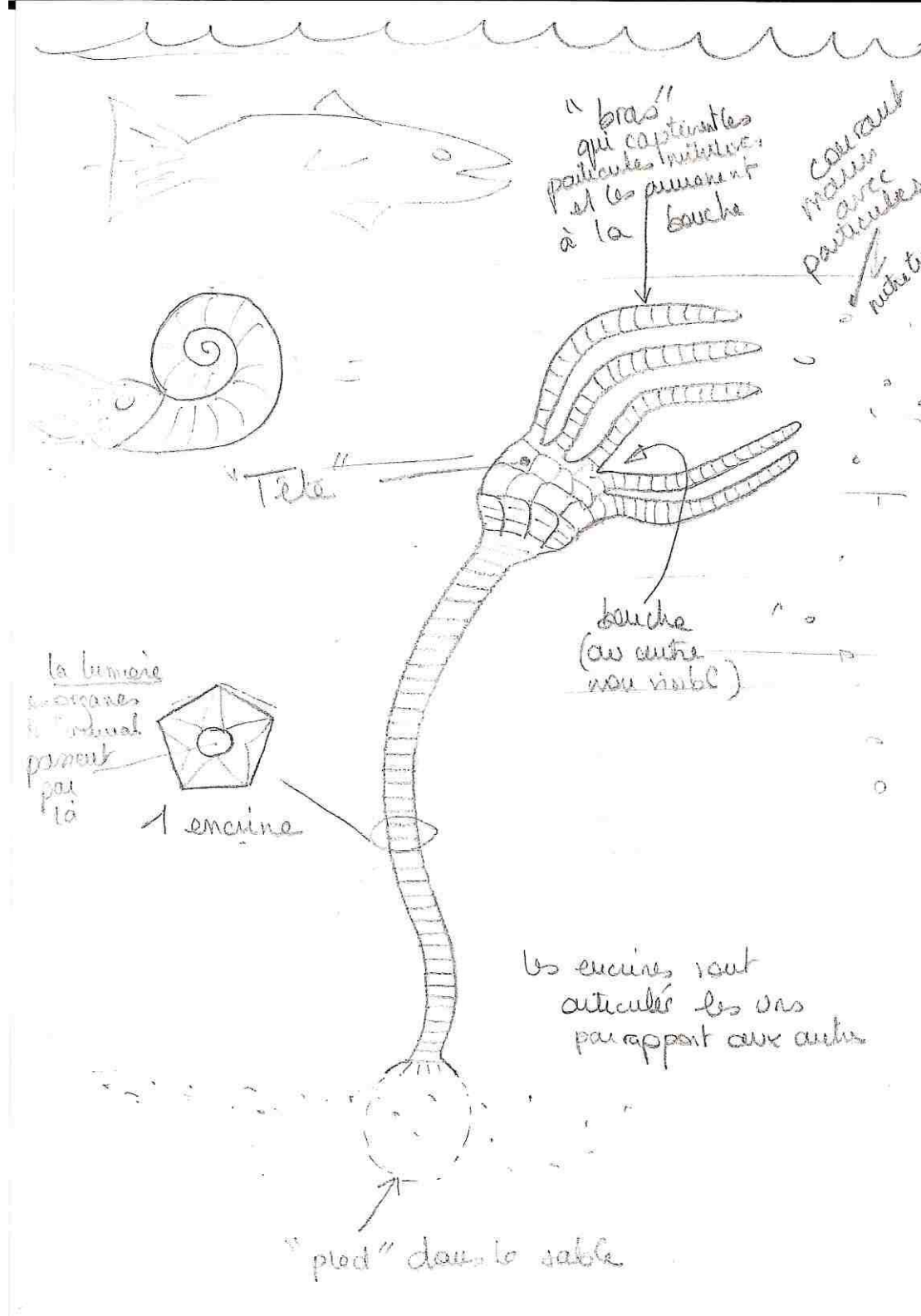
P.J. : un cadeau pour la classe

1/1
Let_8B_TMALV_281004_école de Besançon.doc

Hôtel de Ville
BP 95287 - 25205 Montbéliard cedex
tél 03 81 99 22 00
fax 03 81 99 22 64
www.montbeliard.com

La pièce jointe en cadeau est le N°5 sur Georges Cuvier de la collection « Les génies de la science » de la revue *Pour la Science*, numéro spécial édité en partenariat avec la ville de Montbéliard (Buffetaut, 2000)

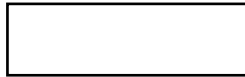
Annexe 6C



ANNEXE 7

**MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE DE LA CLASSE DE
CM1 / OBSTACLE ARTIFICIALISTE
(formulations d'élèves, occurrences 4 à 116)**

Légende



Problème d'une production humaine



Problème d'un phénomène naturel long



Problème d'un évènement brusque

Q = **question**

R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**

-bis = complément de réponse, de question ou d'objection

————→ QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question

————→ RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question

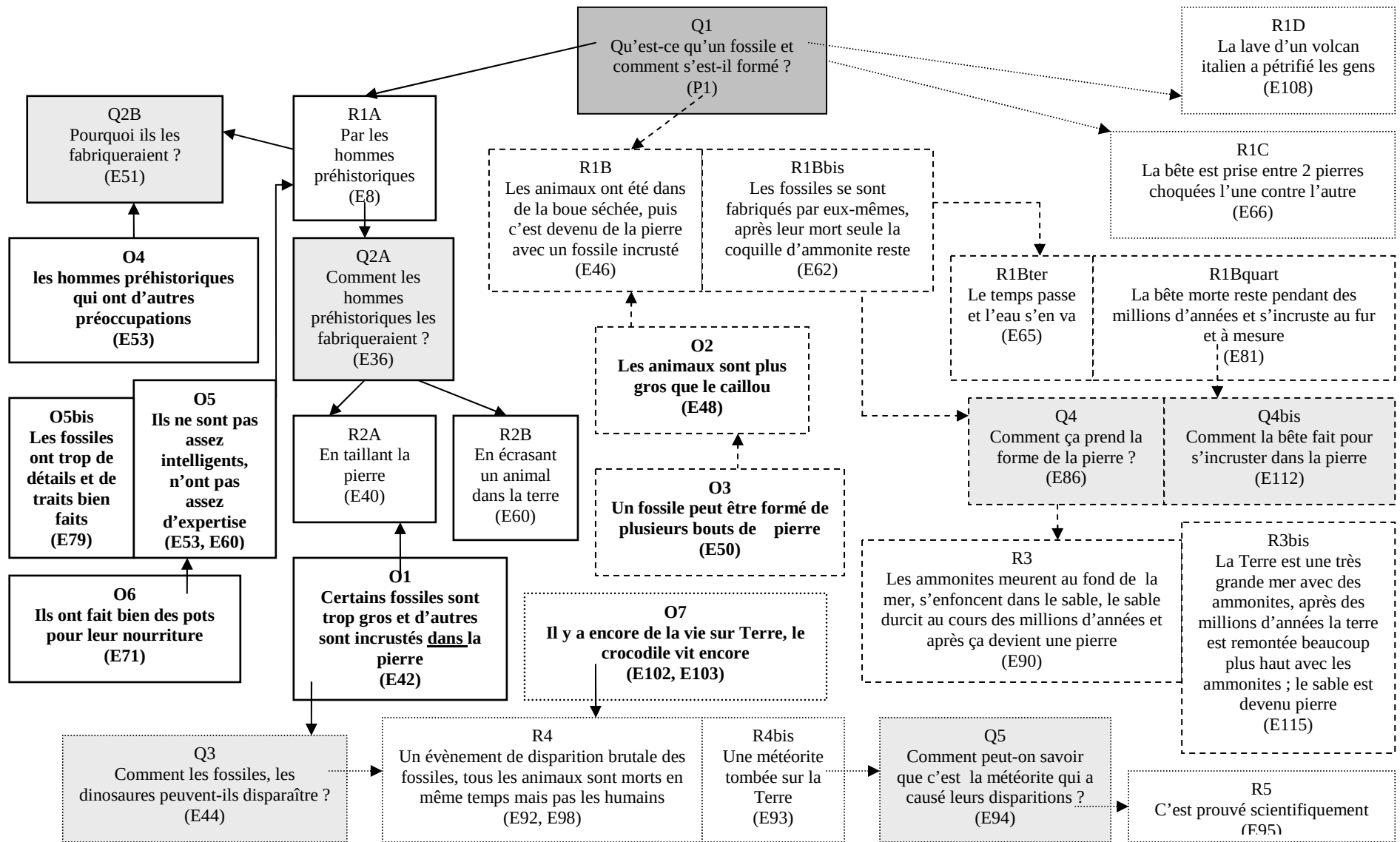
←———— RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 4)

(P) : occurrence professeur

-les bifurcations dichotomiques = diverses solutions de réponses à la même question

-les flèches horizontales ou verticales = inférence unique



ANNEXE 8**TRANSCRIPTION DE LA SÉANCE DE SORTIE A LA MARNIÈRE –CM1**

Ecole primaire Helvétie de Besançon -Classe de CM1- J.-P. Caré

Séance N°5 6-juin-2004 : Mise en commun des fossiles récoltés et discussion après récolte

Activités préalables à la discussion collective :

- récolte individuelle des fossiles sur la butte témoin de Palente
- regroupement, mise en commun et exposition des fossiles représentant la collection de la classe
- premier nettoyage des fossiles dans les flaques d'eau

1	P : Tout ce qu'on a ramassé dans la marnière, plus quelques uns que vous avez ramassé sur le chemin. Vous allez bien regarder tout trié tout ce qui est fossile par rapport à tout ce qui n'est pas fossile. On a des doutes.
2	E (Farès) : Ce qui est un caillou n'est pas un fossile
3 (1')	E (Vincent) : Ben un fossile c'est un peu un caillou. Ni vrai ni faux
4	E (Hugo) : Dans un énorme caillou y'avait un fossile
5	E : Le fossile, c'est une trace, c'est pas des os
6	E : 'Y a plein de fossiles
7	E (Antoine) : On pourrait en fabriquer (<i>l'élève présente son modelage d'un bonhomme en marne</i>)
8	P : Trier marquage par un bout de bois et le plastique si on doute. Chacun en prend un et le place d'un côté ou de l'autre. Fossile d'un côté, non fossile de l'autre....le premier rang accroupi. Vous regardez bien normalement s'il y a des choses qui vous posent questions, vous le prenez
9	E : Je te dis c'est un fossile ça (<i>tige d'encrine</i>)
10	E : C'est un fossile moi je dis
11	E : Mais non, c'est un bout de fer
13	P : Qui pense que c'est un fossile ?
14 (2')	E : Parce que ça a des traits, c'est un espèce d'os
16	E (Alice) : C'est la forme. Moi je dis que c'est du fer. Allez voir au microscope
17	P : On en discutera en classe que de ça
18	E : C'est pas un fossile
20	P : Pourquoi ?
21 (3')	E : Parce que ça ressemble vraiment beaucoup à un caillou. Exactement. Y a rien vraiment de différent
22	P : D'autres qui posent problème ? Quelqu'un avait ramassé ça (<i>un gland de chêne germé et enrobé de marne</i>)
23	E : C'est un gland. On voit la racine, le cotylédon
25	E (Vincent) : Là 'y a la trace de l'ammonite
	E : Moi je pourrais en ramener un de fossile. C'est la même trace
26	P : Le bus va arriver. Alice et Leslie, vous allez récupérer tout ce qui n'est pas fossile. Tu t'en occupes s'il te plaît. Dans l'autre sac plastique les fossiles et encore dans un autre sac, ce sur quoi on doute. Faut passer par le nettoyage avec une brosse à dent. N'oubliez rien.

ANNEXE 9**TRANSCRIPTION DE LA SÉANCE DE DISCUSSION
SUR LES FOSSILES ÉNIGMATIQUES AU RETOUR DE LA MARNIÈRE****Ecole primaire Helvétie de Besançon -Classe de CM1- J.-P. Caré****Séance N° 15-juin-2004***Activités préalables à la phase collective (20min.) :*

- nettoyage des fossiles par petits groupes
- observation par petits groupes, des fossiles qui posaient problème lors de la discussion sur le terrain

1	P : Alors on a trouvé vendredi après-midi plein d'objets, plein de choses mais dans ces objets il y en a certains qui nous ont posé problème, qui nous ont intrigué. Ces objets on les a tous mis ensemble, vous venez d'aller les voir, vous les avez touché, vous les avez retourné, regardé, observé. Qu'est-ce que c'est ?
2	E : C'est un genre de corail un peu
3 (1')	P : un genre de corail
4	E : Ben euh c'est des animaux fossilisés
5	P : Fossile ou pas fossile on ne sais pas
6	E (Hugo) : Ben on dirait des bouts de métal mais en même temps on dirait des fossiles parce qu'y'a comme des petites croix quand on regarde sur les côtés et autour ça fait comme du fer//
7	E : Ben c'est peut-être de la pierre qu'est grise
8	P : Antoine
9	E (Antoine) : Je pense que c'est de la plante, une plante qui se serait fossilisée, qui n'existe plus maintenant, parce que au bout on voit...une feuille.
10	E : Non
11	P : On voit une feuille. Romane ?
12	E (Romane): Quand on regarde le bout en bas on voit une fleur et tout en bas de l'autre côté quand on regarde y'a des tout petit traits (trous)
13	P : Yvan ?
14 (2')	E (Yvan) : Les p'tits trucs c'est une colonne vertébrale
15	P : Alors une colonne vertébrale. Qu'est-ce que vous en pensez les autres ?
16	E : C'est peut-être aussi des vertèbres, des tuyaux digestifs des bêtes, de bêtes
17	P : Alors on se pose des questions. Les autres vous en pensez quoi ? ...Par rapport à ce qui vient d'être dit là, j'ai plusieurs propositions déjà. Qu'est ce que vous en pensez les autres?
18	E (Mathieu) : XXX Ben ça peut être une plante parce que une plante ça pousse droit et ça peut être carrée ! Mais ça peut être une plante mais c'est pas complètement une plante qui //
19	E : Oui mais on les voit pas sur tous. Desfois on voit une étoile, desfois on voit rien.
20	P : Alors pour toi quelle est la différence ?
21 (3')	E : soit c'est une plante soit c'est une pierre
22	P : une pierre simple ? une plante ?
23	E (Vincent) : Ah moi je voulais dire que XXX
24	P : Alors dites voir là il y a une réponse par rapport à la colonne vertébrale de tout à l'heure.
25	E : XXX Moi quand on était à la marnière, j'avais cassé pour voir ce qu'il y avait à l'intérieur.
26	P : Oui et alors ?
27	E (Vincent) : Ben si c'est un fossile c'est pas dur du tout hein (doute émis) alors si c'était une colonne vertébrale ?
28	E : Mais ça arrive aussi, c'est pas une preuve !

29	P : Est-ce qu'une colonne vertébrale est dure comme ça ?
30	E (Vincent) : Si c'est un os c'est plus dur !
31	E : Pas obligé peut-être qu'avec le temps...
32	E : C'est pas pareil
33	P : peut-être qu'avec le temps oui.
34 (4')	E (Mathieu) : Si c'est un os j'suis d'accord que ce serait plus dur. Peut-être que l'os s'est fossilisé, le marne il l'a recouvert. Y'a eu un fossile sauf qu'à l'intérieur ça aurait pu être un os sauf que l'os s'est peut-être désintégré. C'est normal que l'os se casse facilement sauf que c'est la pierre du fossile et que c'est....
35	P : Farès
36	E (Farès) : Ben oui il a raison comme si il a un petit os dedans et ...comment ça s'appelle déjà, le marne ?
37	P : La marne
38	E (Farès) (37): La margne, y'en a eu tout plein dessus et puis là ça a séché et puis là ça s'est éparpillé
39	E (Antoine) : Peut-être à cause de la pollution, y'a eu de petites bêtes qui se sont développées comme ça des petites unités(?) elles sont p'tre mortes et elles se sont fossilisées
40 (5')	E (Hugo) : Ca peut être un os parce que la marne elle a pu faire le même rôle que... que l'eau et ..quand l'eau par exemple, elle est dans une pierre, ben elle éclate, la pierre, si on veut c'est facile à éclater alors ça a pu être pareil avec la marne XXX
41	P : Hum hum Vincent
42	E (Vincent) : Un nautille, les espèces de coquilles là, je ne sais plus comment ça s'appelle, et ben c'est un fossile ! ou c'est peut-être un fossile Ben ça se casse facilement le petit fossile là-bas, tu dis que c'est un os et ben essaye de casser le nautille, tu verras et pis ça aussi c'est qu'une coquille hein, ou un escargot c'est pareil
43	P : Alors qu'est ce qui explique que ça se casse plus facilement ?
44	E (Antoine) : Parce que ça se casse toujours sur les raies comme par hasard. Parce qu'il y a déjà des raies qui sont faites et pis ça se casse toujours sur la raie quand ça se casse, ça se casse jamais à la pointe XXX //
45 (26')	P : Toujours au même endroit. Alors pourquoi ça se casse toujours au même endroit?
46	E (Vincent) : Parce qu'ils ont une faiblesse sur les trucs
47	P : Une faiblesse. Pourquoi ?
	
48	E (Romane) : C'est creusé dans une pierre et pis ça résiste moins
49	P : Dis voir
50	E (Antoine) : C'est peut-être une pierre où c'est que une bête qui se fossilise que sur cette pierre là.
51	E (Vincent) : Non mais attends le fossile il a pas fait exprès de mourir et de se fossiliser !
52 (27')	P : Vas-y
53	E (Mathieu) : Mais aussi Pour que son corps soit conservé ben peut-être que l'animal, peut-être que les anciens qui faisait un développement <i>instantané</i> quand ils étaient morts et ils deviennent un fossile ...pour conserver leur corps
54	E (Vincent) : HA ! ! Donc dès qu'ils naissent, ils meurent, dès qu'ils naissent, ils meurent ! dès que tu meurs, tu deviens fossile !
55	P : Alors ré explique voir. Pourquoi il n'est pas d'accord.
56	E (Mathieu) : Ben parce qu'il n'a pas compris.
57	P : Alors ré explique s'il n'a pas compris.
58	E (Mathieu) : Ben en fait, il NAIT, il vit sa vie, il MEURT et après il a un développement instantané qui devient un fossile
59	P : Ah il devient fossile instantanément
60	E : Instantanément ?

61	P : Ca fait partie des questions qu'on s'était posée d'ailleurs.
62	E : Instantanément, tout de suite un fossile !?
63	E : rire
64	P : On revient à ça, qu'est-ce que c'est ? (tige de crinoïdes) Autres choses, d'autres idées ? ... On essaye de faire la liste. Allez c'est parti ! Qu'est-ce que c'est ?
65	E : Un bout de fer
66	P : Un bout de fer ?
67 (28')	EE : NON ! C'est pas du fer !
68	P : Je ne vous demande pas de dire si vous êtes d'accord ou pas. On essaye de trouver TOUTES les hypothèses qu'on vient de dire.
69	E : En fait c'est n'importe quoi ! XXX
70	P : Un fossile
71	E : Une ammonite
72	E : Non !
73	P : Qui est-ce qui avais dit une plante ?
74	E : Du corail
75	P : Ah oui !
76	E : Une colonne vertébrale
77	P : Jacob tu nous aides ! pour l'instant un bout de fer, un fossile, une ammonite, une plante, une colonne vertébrale...
78	E (Estelle) : Des insectes bizarres
79	P : Des insectes bizarres ?
80	E (Estelle) : Des escargots
81	P : Quoi d'autres encore ? Un silex
82	E : Un os
83	P : D'autres hypothèses encore ?
84	E : Une vertèbre
85	P : Une vertèbre
86	E : Si j'en ai des fossiles. J't en amène plein
87 (30')	P : <i>prénom</i>
88	E (Farès ou Armand): Peut-être que c'est l'homme de Cro-magnon qui l'a fait//
89	EEE : XXX
90	E (Farès ou Armand) : Ah ben c'est ce que je viens de dire
91	P : Tu le dis avec un sourire jusqu'aux oreilles. C'est une hypothèse sérieuse ou non ?
92	E (Farès ou Armand) : XXX secoue négativement la tête
93	E : Une hypothèse si c'est pas sérieuse hein !
94	P : Merci ! Antoine
95	E (Antoine) : Peut-être que c'est une pièce de machine qui est jetée dans la nature et pis ça devient fossile.
96	E : rire
97	E : Les petites pièces de machine qui viennent sur petit truc de bidule !
98	E : C'est peut-être un animal qui avait du fer sur lui
99	P : Jeudi on fera une recherche documentaire et une recherche sur internet. Vous pourrez apporter des livres. Il faut absolument qu'on trouve ce que c'est ! Je relis rapidement tout ce que c'est ?
100	<i>Après lecture de l'affiche</i> P : Jeudi on cherche et on trouve ce que c'est. Merci.

**Trace écrite finale de la séance de discussion
à propos des fossiles de tige d'encrines récoltés sur la marnière**

- un bout de fer
- un fossile
- une ammonite
- une plante
- une colonne vertébrale
- des insectes bizarres
- Un silex
- une vertèbre
- une pièce de machine
- un animal qui avait du fer sur lui

ANNEXE 10

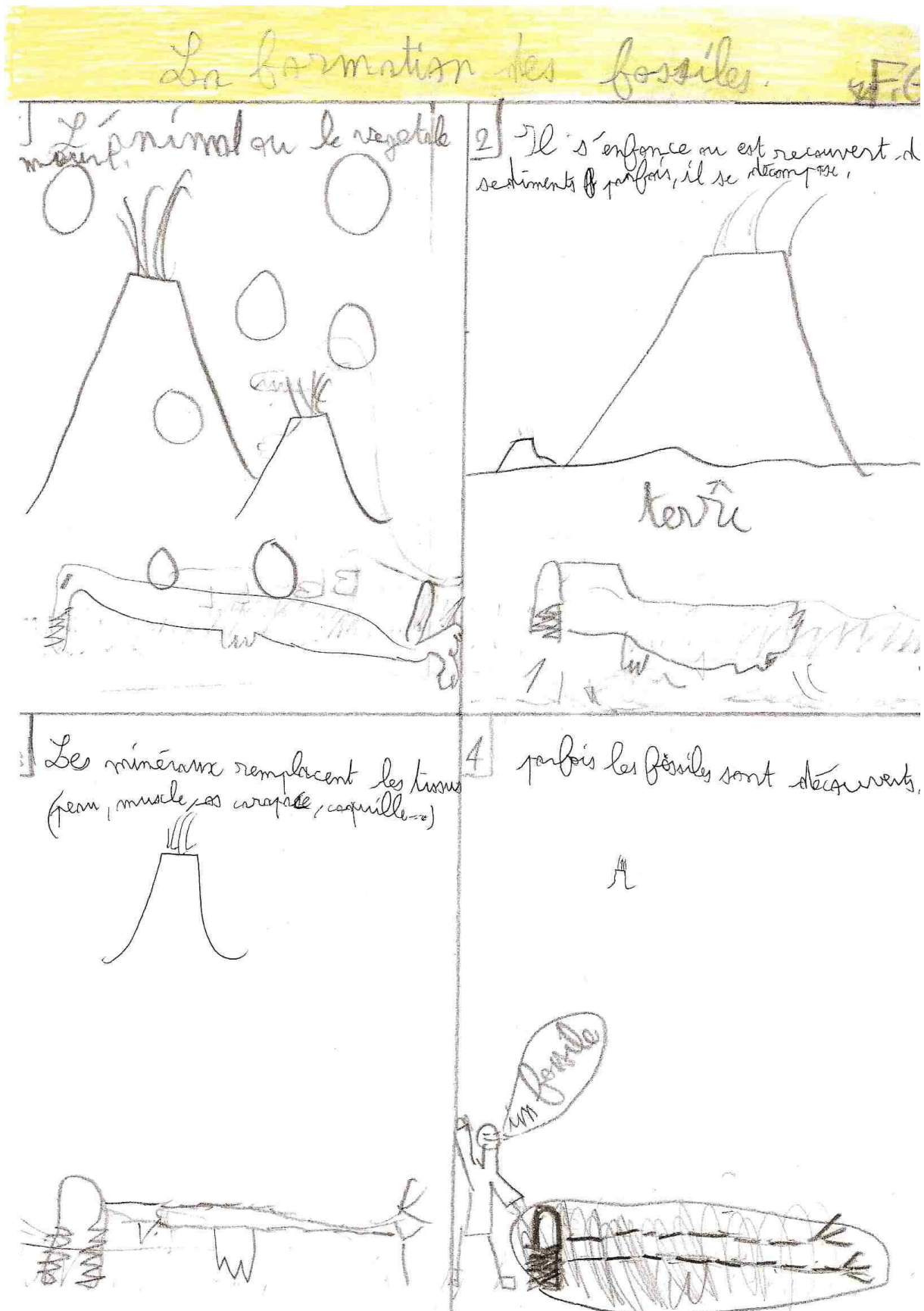
ÉVALUATIONS -FOSSILISATION ET VOLCANISME

Annexe 10A : Évaluation CM1 - Estelle

La formation des FOSSILES:



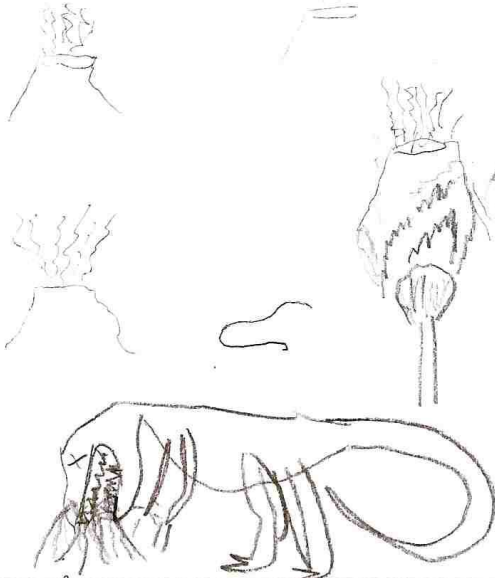
Annexe 10B : Évaluation CM1 - Farès



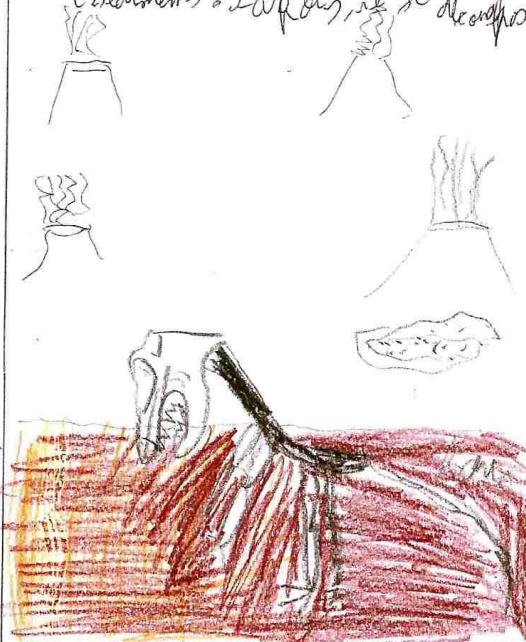
Annexe 10C : Évaluation CM1 - Vincent

La formation des fossiles.

1 L'animal ou le végétal meurt.



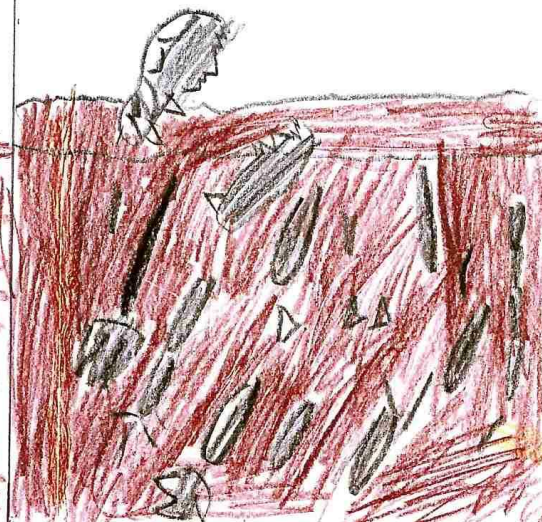
2 Il s'enfonce ou est recouvert de sédiments. Parfois, il se décompose.



3 Les minéraux remplacent les tissus (peau, muscle, os + cartilage, coquille).



4 Parfois les fossiles sont découverts.



Controverse historique au XVII^e siècle sur l'origine des pierres et des fossiles

ANNEXE 11**TRANSCRIPTION DE LA NOTE MANUSCRITE DE J.-É. GUETTARD,
TRADUCTION DU TEXTE DE J.-B. DU HAMEL SUR LES BÉLEMNITES
Inédit**

Guettard, J.-É. (non daté, postérieur à 1768). "Jean Baptiste Duhamel." In *Ms 2186, Minéralogie 1, B. Notes diverses sur la minéralogie, son utilité, la façon de l'étudier* (feuille 64). Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle.

64

Jean-Baptiste Duhamel

Les bélemnites paroissent à Mr
Duhamel être des pointes de
piques flèches changées en pierre.²⁵⁶ Lors-
que les Belemnites sont transpa-
rentes comme le *pain* de Falerne
Falerne et qu'elles attirent les
pailles elles portent le nom de
Lyncuries. Quelques unes ont une
fissure dans leur milieu et sur leur
longueur ce qui ce fait qu'elles
se fendent aisément en deux pics
de cette dimension. Mises au
feu elles sentent la corne ou les
os brulés. Les médecins s'en servent
contre le calcul vertu qui leur est
commune avec plusieurs
pierres et notamment avec la
pierre judaïque De fossil.
pag. 210

Remarques :

-La mise en page est conservée,

-les mots en italiques relatent un doute sur la transcription.

-Il est intéressant de comparer cette traduction de J-E Guettard avec la traduction moderne de R Duflot (Annexe 13) qui conforte la transcription, les manuscrits de J.-É. Guettard étant difficilement déchiffrables comme l'attestait J. Roger(1962).

²⁵⁶ La traduction latine commence à partir de cette phrase

ANNEXE 12

**TRADUCTION LATINE DU CHAPITRE 6, LIVRE 2
de Jean-Baptiste DU HAMEL (1660)
inédit**

DU HAMEL, J.-B. (1660). *De meteoris et fossilibus, per dialogos, libri duo* (Chapitre 6, pp. 183-200). Paris : Pierre Lamy.

Traduction, Roland Duflot

Annotation, Patricia Crépin-Obert

LIVRE 2

Des dialogues à propos des fossiles :

La nature, l'origine et l'usage des objets tirés du sol

[p. 183]

Chapitre six.

Les pierres d'un point de vue général.

I. La matière commune aux pierres, la cause efficiente et formelle, cela est différent de ce qu'en pensent communément les Péripatéticiens. II. Nous exposons ce que nous pensons au sujet des causes des pierres. III. Le principe de la coagulation. IV. Où l'on discute des calculs.

MÉNANDRE

Certes tout cela est très agréable et réjouissant pour nous ; et à ce que je vois, tu parles de choses obscures, non seulement de façon claire, mais aussi très élégamment, comme la plupart des Philosophes ont l'habitude de faire. Je ne suis assurément pas d'avis que le Philosophe, laissant de côté l'ampleur du sujet, doive chercher à capter des fragments de la Langue latine ; cela est en effet puéril, c'est un étalage futile à propos de choses qui ont peu de valeur. Il aura parlé très clairement, s'il

explique des choses bonnes de façon précise et nette ; qu'il ne bannisse pas toute élégance raffinée, et qu'il ne cherche pas les subtilités de langage : qu'il fuie l'obscurité comme un écueil ; et qu'il ne craigne pas de créer des mots et de donner des noms nouveaux à des choses nouvelles. De fait, comme l'a dit bellement Tullius²⁵⁷, il faut bien s'assurer d'éviter que les auteurs puissent défendre leurs néologismes et utiliser un vocabulaire inconnu de nous, courant pour eux. Mais cette façon de faire est précise aussi et doit être utilisée : les Chimistes²⁵⁸ en effet usent de ce droit de façon trop immodérée ; et ils ne se contentent pas de parler selon leur manière propre, à moins d'inventer tous les jours encore de nouveaux mots ; de sorte qu'ils ne sont pas tant découvreurs de choses que de mots. Je souhaiterais toutefois que les Philosophes qui écrivent en langue vernaculaire pardonnent à ceux dont le savoir consiste davantage dans l'explication des termes que dans celle des choses : promettant, il est vrai, de grandes choses, ils ne se préoccupent que des petites. Ils peuvent tous protester, je dirai ce que je pense, un ouvrage du seul Descartes surpasse les bibliothèques de tous les Philosophes, autant par la qualité du raisonnement que par les ressources de l'invention. Il emploie des termes qui ne lui appartiennent pas en propre, qui ne sont pas incorrects, mais courants et communs à tous ; les principes de toutes choses, l'ordonnement du monde, les mouvements des astres, et tous les ouvrages de la nature, il les présente de façon si claire, [p. 184] qu'après lui, il ne reste plus qu'à se taire dans la plus grande modestie.

THÉOPHILE

A quel point la doctrine de Descartes philosophe est facile et évidente à tous, ils auraient dû le remarquer, ceux qui, se prévenant de l'orgueil de sa méthode, comme si elle était très difficile, avançaient sûrs d'eux. Il aura traité très clairement des choses célestes et des météores, je ne le conteste en rien : ce qui est certain, c'est qu'il a abordé de loin et légèrement les choses souterraines et les fossiles. C'est pourquoi Descartes nous permettra de mener une enquête plus approfondie sur la nature et la génération des pierres puis des métaux. Il s'ensuit en effet que, après avoir traité des terres, des sels, du soufre et des bitumes²⁵⁹, un peu plus abondamment, peut-être, qu'il n'était nécessaire, nous parlerons d'abord des pierres en général, puis isolément de chacune d'elles l'une après l'autre. Et afin de progresser avec ordre et méthode, j'ai l'intention d'examiner quelle est la matière commune aux pierres, quelle est leur cause efficiente, enfin quel est leur aspect ; puis il faudra parler de la transparence des pierres, de leurs couleurs, de leurs formes, de leur dureté et autres accidents. Il convient donc, puisque toute la discussion sur les pierres est à venir, de définir auparavant ce qu'est une pierre.

²⁵⁷

²⁵⁸ Le terme Chymici est employé dans le texte original ; or il n'a aucune correspondance dans les dictionnaires latins antique (Gaffiot, 1934 ou 2000) ou médiéval (Dusfresnes, 1678/1883-1887, *Glossarium mediae et infimae latinitatis*, site américain : [//standisch.stanford.edu](http://standisch.stanford.edu)).

²⁵⁹ Les chapitres II à V ont abordé amplement l'origine et la diversité des terres mélangées, du sel et du nitre, de l'origine des autres sels, des sulfures et bitumes.

Définition de la pierre.

Quelques-uns la définissent comme un mélange parfait, dur, terrestre, qui peut être brisé, non malléable ni susceptible de se liquéfier par soi-même ; d'autres la définissent un peu différemment comme un corps mélangé, très dur, non malléable, qui ne se dissout pas dans l'eau. Car c'est un fait qui n'est pas reconnu, que les pierres ne peuvent être liquéfiées, au point que cela reste sujet à controverses. Voyons à présent quelle est la matière des pierres. Est-ce que, par hasard, les pierres se forment par concrétion d'une exhalaison ²⁶⁰ sèche comme les métaux se forment d'une exhalaison aqueuse ? C'est ce que pensait Aristote : ou plutôt les pierres sont-elles formées d'une humidité visqueuse, ou de terre et d'eau mélangées de façon très subtile ; ou enfin de suc lapidifiant, filtré à travers les divers canaux de la terre ? Assurément, il y en a qui croit avoir quelque certitude là-dessus ; une telle dissension entre gens très savants oblige à douter d'une chose très mal connue.

Quelle est la matière des pierres.

Et s'il fallait donner son assentiment à quelqu'une de leurs opinions, je choisirais de préférence la manière de voir d'Avicenne²⁶¹, qui ne pense pas comme Aristote que la matière des pierres est faite d'une exhalaison ténue : il est impossible en effet qu'une exhalaison sèche dépourvue d'élément liquide circule dans un corps dur ; ni seulement dans la terre, dont les éléments se séparent en poussière, quand ils sont privés de tout élément liquide ; ni seulement dans l'eau, qui durcit au froid, et fond à la chaleur ; alors que les pierres ne se liquéfient que difficilement ou pas du tout sous l'effet de la chaleur ; non pas même dans la terre un peu diluée dans l'eau, de laquelle rien ne se forme si ce n'est de la boue ; mais il -Avicenne- pense qu'elle -la matière des pierres- est faite d'un liquide gluant²⁶² et de terre ; de sorte que [p. 185] l'humidité lui confère la continuité, la terre la solidité. La siccité²⁶³ de la terre affermit l'humidité de l'eau, en évitant qu'elle ne se répande ; le liquide unit les très petites particules de terre, et les lie ensemble : puis la boue, ayant durcie, et ayant perdu l'excès d'humidité, s'approche de la solidité de la pierre. Et si le liquide n'était pas gluant, il s'évaporerait promptement sous l'effet de la chaleur. Dès lors les veines qui parcourent les pierres, ne sont rien d'autre qu'une sorte de terre desséchée, qui tombe facilement en poussière, du fait que toute l'humidité s'est retirée de ses éléments. L'idée d'Aristote peut difficilement être défendue, à moins que par hasard il n'ajoute que la matière des pierres n'en est assurément pas très proche, mais assez éloignée. Bien que ce ne soit pas seulement une exhalaison sèche, de laquelle il ne peut sortir rien d'autre qu'une poussière très fine ; mais une émanation mélangée à de la vapeur qui contribue à la naissance des pierres : pourtant une exhalaison terrestre s'empare en premier lieu des éléments : de là, il est

²⁶⁰ « Concrecere » est employé et est associé à « halitus » pour la formation des pierres et à « vapor » pour la formation des métaux.

²⁶¹ Avicenne, médecin philosophe d'origine iranienne dont ses traités témoignent d'un aristotélisme d'inspiration néoplatonicienne.

²⁶² Viscosus : qui est de la nature de la glu et a sa propriété de coller ensemble, d'engluier.

²⁶³ Etat de ce qui est sec.

suffisamment clair qu'il y a davantage de terre que d'eau dans les pierres, du fait que, contrairement aux métaux, la chaleur ne les dissout pas. Et si l'eau seule dominait dans les pierres, on ne comprendrait pas pourquoi toutes -les pierres- tombent au fond de l'eau : car la glace ne coule pas, mais flotte plutôt. Par conséquent, les pierres ne proviennent pas d'autre chose que d'une boue collante, ou même d'un suc lapidifiant : la boue se trouve là où la terre est très abondante ; le suc, là où l'eau prédomine : et le suc lapidifiant n'est rien d'autre que de l'eau saturé de parcelles de roches : celle-ci en effet coule là où il y a des veines de chaux, emporte avec elle de la poudre de chaux, qui souvent devient du gypse ou de la pierre transparente²⁶⁴, après que l'excédent d'eau aura été filtré ou bien se sera évaporé sous l'effet de la chaleur. Aussi longtemps que ce suc est remué, il garde l'apparence de l'eau, mais quand il s'arrête, il se contracte aussitôt pour prendre la dureté de la pierre. En voilà assez sur la matière des pierres ; à présent je vais essayer de dire quelle est leur cause efficiente.

La cause efficiente des pierres selon l'opinion commune.

Ce n'est pas seulement la chaleur qui donne naissance aux pierres, comme le prétend Aristote : mais celles qui sont dissoutes par l'eau ont été durcies par la chaleur ; et celles qui sont liquéfiées par la violence du feu, comme les silices, le froid les a durcies : certes la chaleur fait s'évaporer l'excès d'humidité, et en laisse autant qu'il faut pour tenir les éléments assemblés ; mais le froid, comme il chasse l'air, gèle plus fortement l'humidité, et soude -les éléments- : alors les morceaux de roche et de pierre ponce que la chaleur a formés, se fendillent en de nombreux pores : les silices, et les gemmes²⁶⁵ ont les ouvertures fermées. C'est en vain donc qu'Avicenne et Albert Le Grand²⁶⁶ ont recours à une certaine force minérale et plastique²⁶⁷ ; [p. 186] comme si les pierres, à la manière des plantes, étaient dotées d'une force séminale et formatrice²⁶⁸. La pierre n'engendre pas la pierre, et cette force séminale est un pur produit de l'imagination et inutile, quand bien même la matière des pierres pourrait être transmutée par la seule chaleur, ou par le froid. Mais il serait trop long de discuter de l'inconséquence d'Albert : car un jour il place la force formatrice des pierres dans la matière même ; un jour il l'attribue aux astres du firmament ; une autre fois c'est au milieu lui-même qui enveloppe la matière de la pierre qu'il donne cette vertu : certes au commencement une force lapidifiante altère la matière, puis s'en empare, et enveloppe la terre grasse, et finalement s'étant rendue supérieure à la terre la

²⁶⁴ La chaux, qui est un oxyde de calcium – c'est-à-dire, par extrapolation, les pierres calcaires ou pierres à chaux-, est de composition géochimique différente du gypse, sulfate hydraté de calcium ; par contre la pierre transparente qu'il évoque peut très bien être le minéral pur de calcite -carbonate de calcium- fréquent dans les roches sédimentaires, les moules internes des fossiles associés, composant les stalactites et stalagmites dans les grottes des régions calcaires à partir du dépôt du calcaire dissous dans les eaux souterraines.

²⁶⁵ Synonyme de pierre précieuse telles le cristal de roche, le diamant, le grenat, l'ambre dont il parlera ultérieurement. Très tôt les gemmes ont été repérés dans la nature pour leur beauté liée à la limpidité, l'éclat, la dureté, les couleurs et leur rareté ce qui en a fait des objets de bijouterie.

²⁶⁶ Albert le Grand, disciple d'Aristote au Moyen-âge.

²⁶⁷ « Vim mineralem & plasticam » = la force plastique est un principe aristotélicien qui imaginait une force mystérieuse latente et créative dans la terre. Elle représente l'art de modeler en terre par un sculpteur et semble connotée à la création par Dieu.

²⁶⁸ « vi seminaria, & formatrice » dans le texte original est remplacé par « vis seminaria & formatrix ».

domine, et la transforme en pierre. Le fait est que la vertu formatrice se diffuse par le mouvement du ciel, autant que par l'artisan universel, les étoiles la règlent et l'amènent à un aspect déterminé : car, de même qu'il estime que les métaux proviennent des planètes, de même il pense que les divers aspects des pierres tirent leur origine des étoiles fixes. Les éléments enfin fournissent la matière, et la préparent ; la force formatrice, qui provient du mouvement premier, c'est pour ainsi dire la technique de l'artisan lui-même, ou la forme qui détermine : la vertu des étoiles est similaire au travail de la main ; mais les éléments comme les instruments que la main utilise et que le savoir-faire commande, sont des outils. Albert pense donc que ce fondement de son opinion est très clairement établi. Non pas certes que je conteste que Dieu en tant qu'artisan suprême ne soit maître de l'origine de toute chose ; le ciel aussi, j'admettrai volontiers qu'il fait avancer les générations au nom de la cause universelle ; mais qu'à partir des diverses dispositions des étoiles naissent les différents aspects des pierres, je ne pourrai jamais le croire ; et je m'étonne fortement qu'un si grand Philosophe, séduit par la jactance des Chaldéens²⁶⁹, ait rempli ses livres d'affabulations puériles : comme si les mêmes constellations ne rayonnaient pas partout, comme si une étoile, qui luit par toute la terre, répandait ses écoulements sur un endroit particulier plutôt que sur un autre. Est-ce que par hasard, lorsque les calculs se forment dans les reins, on mettra en cause les étoiles fixes, un liquide labile et gluant, ou une chaleur excessive ? Dans quel but avoir recours aux causes premières, universelles, et cachées, alors qu'il y en a de bien plus proches, et qui se tiennent à portée de main.

C'est un fait que toutes les pierres, la chaleur ou le froid ou enfin le suc lapidifiant, les durcissent ; soit que ce dernier pénètre dans les conduits des corps, soit qu'il recouvre des herbes ou des animaux et les couvre d'une croûte ; ou bien enfin, [p. 187] les ayant fait cuire lentement par une chaleur interne et les ayant densifiés, dès qu'il cesse son mouvement, aussitôt il se condense en pierre. Et il n'existe dans le milieu même aucune force efficiente des pierres : bien que le milieu leur donne peut-être forme : car le suc lapidifiant prête aux pierres la figure de leur propre lieu ; de sorte qu'il n'est pas nécessaire de faire appel à un esprit des pierres, ni à des processus séminaux. Non pas que nous pensions que toutes les figures de toutes les pierres doivent être déterminées par un lieu : mais en partie la matière des pierres s'adapte à la configuration du lieu, comme à celle d'un vase ; en partie elles tirent leur origine de la diversité de chaleur ou de matière. Quand la chaleur chasse l'humidité dans un effort constant, et qu'elle soumet une matière en tous points semblable à elle-même, alors elle forme des pierres arrondies. Parfois des excroissances faites de petits éléments se développent ; soit que le suc se répande de façon uniforme, soit qu'elles soient fabriquées par un assemblage de minuscules grains de sable ? En fait, quand l'humidité s'en va, ce n'est pas en raison de la force de la chaleur elle-même, mais parce que le liquide lui-même s'évapore peu à peu, et pour ainsi dire devient languissant, alors les pierres se divisent en divers angles : et cela s'accomplit généralement de cette manière qu'on voit du nitre²⁷⁰, et d'autres sortes de cristaux de sel se former en différentes pointes : en effet le liquide affluant petit à petit vers l'intérieur, les éléments plus légers, et les sommets des angles

²⁶⁹ Nom donné dans l'Antiquité classique à diverses sortes de prêtres et astrologues orientaux.

²⁷⁰ Nitre : ancien nom du nitrate de potassium. Le salpêtre est un mélange naturel de nitrates.

sont poussés à l'extérieur. Le hasard et les circonstances y peuvent aussi beaucoup : car, une fois que la matière des pierres est sèche, elle se divise d'elle-même en diverses parties ; vu que d'ordinaire la terre marécageuse, quand elle s'est échauffée à l'approche du soleil, se fend encore plus, et par divers tracés de lignes, dessine aussi différentes figures, desquelles si on en cherche très attentivement les raisons, on n'aboutira à rien.

Ce n'est pas uniquement leur figure mais aussi leur grosseur, et leur caractère distinctif que les pierres empruntent tantôt à la diversité de la matière, tantôt à la disposition du lieu : les plus grandes en effet croissent, quand le lieu est compact et très abondant en suc ; mais quand le lieu est traversé de nombreuses canaux, alors la chaleur, dispersée à travers ces ouvertures, partage la matière elle-même, et les pierres ne se forment pas très grandes. C'est de cette manière que le sable et les minuscules cailloux se forment d'habitude : quoique le sable puisse être rassemblé souvent par l'eau qui coule le long des roches.

Ici j'entreprendrais de dire quelles sont les causes, à mon avis, de la transparence des gemmes, et de leurs couleurs, si je n'avais pas déjà traité abondamment ce sujet ailleurs. Pour l'instant, il sera suffisant d'avoir rappelé que la transparence se développe non pas à cause de la terre, mais de l'eau ou d'un suc extrêmement pur. Car l'opacité, c'est la marque de la terre, tandis que l'eau est diaphane, à quel point elle domine dans les pierres précieuses, cela est évident du fait que [p. 188] les gemmes sont dissoutes par la violence du feu, alors que les roches qui contiennent une grande quantité de terre, ne sont pas du tout liquéfiées par le feu. C'est pourquoi le cristal²⁷¹, le béryl²⁷², le diamant, le verre sont purs, eux que l'activité de la nature a produits, et la dureté ou la solide adhérence des parties que la technique ne peut reproduire, la nature l'a octroyée aux gemmes. Il est vrai que la technique imite la nature, elle ne l'égale pas. Je laisse de côté les autres causes qui peuvent être à l'origine de la transparence des pierres ; cependant les principales sont la pureté de la substance, la continuité, la disposition des parties homogènes sur une même ligne droite. Et nous ne nous attarderons pas longtemps à cette autre discussion sur un sujet proche, à savoir d'où vient une telle variété de couleurs dans les pierres : car nous avons exposé par le menu en son lieu la nature et la différence des couleurs : quoique je croie que la question n'est pas encore close et n'a pas trouvé sa conclusion. C'est que j'ai du mal à t'accorder, Simplicius, que toutes les couleurs naissent d'une lumière interne ; et il n'existe pas, c'est ce que je pense, une unique cause et origine pour toutes les couleurs : un certain nombre provient des qualités des éléments ; lesquels quand on les brûle, s'ils sont détrempés avec peu d'humidité, ils prennent une couleur noire : le plomb calciné (trempé dans la chaux ?²⁷³) d'abord devient blanc, puis jaune, et enfin pourpre. Les pierres exposées au soleil finissent la plupart du temps

²⁷¹ Le cristal de roche est une des variétés de quartz, forme très commune de la silice et un des minéraux les plus communs de l'écorce terrestre. Il se présente en prismes hexagonaux, incolores et transparents aux terminaisons pyramidales. Il est aussi appelé faux diamant.

²⁷² Le béryl : cyclosilicate en prismes allongés et cannelés ou arrondis de colorations très variées liées aux traces de fer et de chrome (bleu et vert), de lithium (rose), d'uranium (jaune). Il peut donner des gemmes telles que l'émeraude ou l'aigue-marine.

²⁷³ Calcinatio : réduction dans la chaux (Du Cange, 1678/1883, Tome 2, p. 26)

par devenir vertes, ou noirâtres : mais celles qui restent en des lieux sombres et très ombragés, montrent quelque couleur de rouille (vert-de-gris). Parfois les couleurs se produisent d'une figure variée de corpuscules, et d'une interception allant en diverses directions des rayons : car je suis persuadé que, très fréquemment, la blancheur est due à une réflexion multiple, et même à de nombreux corpuscules sphériques ; et cela, on peut l'observer dans l'écume et dans le neige, choses qui sont constituées d'innombrables petites boules : ainsi les corpuscules du marbre blanc sont sphériques, et beaucoup plus petits que ceux du marbre noir ; de là vient que le premier renvoie les rayons de façon très dense (en plus grand nombre) et le second en plus petit nombre. En définitive, les pierres gardent très souvent la couleur que les sucs, à partir desquels elles se sont développées, leur ont conférée auparavant. Quelquefois les pierres sont teintées par des émanations de métaux²⁷⁴. Pour autant donc que je puis voir, il y a quatre causes des plus probables aux couleurs des pierres : une combinaison²⁷⁵, une réflexion variée de la lumière externe, qui dépend des figures des corpuscules assemblés dont les pierres sont constitués ; une teinte paraissant à l'extérieur, causes auxquelles -pour ne pas sembler être en litige avec toi- nous ajouterons enfin une certaine lumière intérieure, et cachée, et une transparence née en même temps que toutes les choses. Nous avons parlé de la matière et [p. 189] de la cause efficiente, et aussi des figures, des couleurs et de la transparence des pierres ; nous devons ensuite chercher d'où elles tirent leur dureté et solidité. Sur la question, je dois engager une grande lutte avec le Stagirite²⁷⁶ ; à tel point, que je crains de donner à Simplicius, patron des Chimistes, une plus grande liberté et licence de me contredire.

SIMPLICIUS

En fait, je ne suis pas lié aux Chimistes ni à aucune secte, au point de me sentir obligé de défendre, que je sois d'accord ou non, quelque opinion déterminée. C'est pourquoi ne crains pas de nous faire part des griefs, quels qu'ils soient, que tu as contre les Chimistes.

De la formation des pierres selon les Péripatéticiens

THÉOPHILE

Je suis prêt. Une opinion commune à tous les Philosophes est que non seulement les pierres, mais aussi n'importe quelle chose formée d'un mélange, tire de la terre sa consistance, sa solidité, et, comme on dit, sa coagulation : soit que la chaleur les contracte, soit que le froid les gèle. Quant aux métaux, qui se fondent à la chaleur, il n'échappe à personne qu'ils sont emplis d'une grande quantité d'eau : au vrai, ce n'est pas seulement l'eau qui produit cette concrétion, mais un mélange subtil d'eau et de terre. Voilà pourquoi, pour exprimer en un mot ma pensée, la terre domine dans les choses solides ; la chaleur et le froid, en tant que causes efficientes, font progresser cette concrétion ; un

²⁷⁴ Mineralia : des corps générés dans des veines de la terre, comme le plomb, ou d'autres métaux. (Du Cange, 1678/1885, Tome 5, p. 392).

²⁷⁵ Ou mélange proportionné

²⁷⁶ Le « Stagirite » : surnom donné à Aristote qui naquit à Stagire, l'actuelle Stavros, en Macédoine en 384 av. J.-C.

liquide gras, et adhérent, entrelacé de fibres, et enfin un mélange exactement accompli de terre et d'eau, cela n'est rien d'autre, à mon avis, que des causes adjointes. Les pierres et les gemmes qui sont produites par un suc sont en général plus dures : car elles se sont développées à partir d'un mélange extrêmement subtil de terre et d'eau, elles sont dotées de canaux tellement bouchés et étroits que le liquide ne peut trouver d'issue. Enfin les pierres, qui se sont durcies ni à partir d'une glaise adhérente, ni à partir d'un suc lapidifiant, lorsqu'elles subissent sur une longue durée une chaleur très violente, le liquide mal mélangé s'évapore facilement par les canaux ouverts, et seule reste la terre, généralement blanche comme de la craie, molle, de faible densité, friable, et qui, par suite, se désagrége d'elle-même en poussière. Ce genre de pierres est totalement inutile à la construction : car exposées au Soleil, elles sont aussitôt privées de leur liquide, et découpées en moellons, elles se désagrègent : à l'inverse des pierres plus dures et denses qui durcissent davantage sous l'effet du Soleil ; car c'est seulement le liquide excédentaire qui se retire sous l'action des rayons de soleil. Il est vrai que les Silices, sous prétexte qu'ils posséderaient des pores très étroits, qu'ils ne pourraient accueillir les corpuscules de chaux et qu'on ne pourrait les couper d'équerre, sont rejetés par les Architectes. Mais le marbre, quoiqu'il ait [p. 190] des canaux très ouverts et disposés en ligne droite, se découpe à la scie et ne repousse pas la chaux. Pour ces raisons donc on voit que les causes des pierres sont l'agglomération et la coagulation : et il n'est pas nécessaire de recourir au sel avec l'infâme corporation des affidés²⁷⁷ de Paracelse²⁷⁸ : en fait, que le sel soit présent dans les pierres et les métaux, la question est plus discutée par les Chimistes, que prouvée. Mais afin d'atténuer la controverse, je concéderai qu'il en est comme ils le disent : par quelles raisons cependant ils prouvent que la consistance des choses et leur dureté est attribuable plutôt au sel qu'à la terre ? Le sel²⁷⁹ se dissout entièrement dans l'eau, quels que soient les corps qu'il attaque, comme -pense-t-on- dans les eaux du Styx²⁸⁰. De quelle façon donc il fixe, consolide et confère à toutes choses la solidité, quand lui-même ne se montre ni stable, ni ferme ? Quel Chirurgien a jamais employé du sel pour réduire les fractures ? Pour moi, j'aurais préféré qu'ils prennent comme cause de la coagulation un liquide huileux et bitumineux : car les bitumes²⁸¹ s'épaississent en pierres, et un liquide gluant sera plus approprié à la formation -par agglutination- des corps que le sel dépourvu de tout adhérence et solidité. Assurément, si on retranchait du sel ce qu'il contient de terre et d'huile, il ne resterait rien que de minuscules grains de poussière, qui certes dissoudront les corps, mais ne les resserreront pas. Il est étonnant aussi que les Chimistes attribuent la

²⁷⁷ A qui on peut se fier, synonyme de partisans.

²⁷⁸ Paracelse (1493-1541) : médecin et alchimiste suisse qui fit scandale en critiquant les théories de Galien et d'Avicenne. Sa théorie médicale s'appuyait sur l'analogie entre les différentes parties du corps humain (microcosme) et celles de l'univers (macrocosme).

²⁷⁹ « Sal » est neutre ici ; en général masculin dans la langue classique (Du Cange, 1678/1886, Tome 7).

²⁸⁰ « aquis Stygiis » signifie littéralement les eaux du Styx. En lien avec la mythologie grecque, le Styx est le fleuve des enfers dont les eaux noires et glacées ont des propriétés magiques ; dans le dictionnaire Du Cange, il est orthographié 'stugium', endroit retiré ; on peut donc le traduire dans un sens nouveau comme signifiant les eaux cachées qui coulent sous la Terre ou eaux souterraines.

²⁸¹ Bitumes : synonyme ancien de l'asphalte, produit naturel noir très visqueux -à toucher gras- ou solide, d'odeur fétide et souvent en imprégnation de calcaire ou de grès ou de schistes ; les schistes bitumineux chauffés par pyrolyse à 500°C., libèrent des huiles ; actuellement dérivé de la matière organique.

coagulation aux principes plutôt qu'aux éléments ; étant donné que ceux-là sont très fins, ceux-ci très épais ; ceux-là bien plus proches des esprits, ceux-ci des corps. Tout cela est incertain et boiteux, et ils ne produisent rien de très conséquent. Tantôt ils supposent certains esprits mécaniques, qui fixeraient et coaguleraient les corps ; tantôt ils défendent très âprement que le sel est la cause de toute concrétion : ni sur ce point ni sur aucun autre ils ne sont d'accord avec eux-mêmes. Est-ce que par hasard les os, qui au début sont mous et cartilagineux, tirent plus tard leur solidité du sel ? Ou plutôt, peu à peu desséchés par la chaleur, ils acquièrent ainsi leur dureté ? Pour quelle raison les os et les cornes sont amollis par certaines lessives ? Pourquoi le verre, chauffé à blanc par les eaux du Styx, ou bien plongé dans des solutions de cendres gravelées²⁸² vole en éclats ? Est-ce que c'est de la même source que découleront la stabilité et la dissolution ? Beaucoup d'entre eux pensent que, aussi longtemps que le corail reste au fond de la mer, il est souple et tendre, et que sorti de l'eau, aussitôt il devient pierre. C'est pour moi un vrai miracle que le sel, qui se trouve en grande quantité dans la mer, enlève au corail lui-même sa qualité d'être compact, qu'il confère à toutes les autres choses. Ainsi ils affirment que les coquilles des œufs durcissent dès que les œufs sortent : [p. 191] est-ce qu'ils acquièrent cette dureté plutôt du sel que de l'air ? Au contraire, le sel se dissout quand on le place dans un lieu très humide ; donc les coquilles des œufs ne prennent pas du sel leur dureté. Comme les briques ou les tuiles faites d'une terre grasse et argileuse ont été durcies non par la force du sel mais par la chaleur du feu, ce n'est pas la présence en abondance de sel, mais une terre grasse et adhérente qui fournit aux pierres leur matière. Mais c'est que, dis-tu, plus les choses sont dures, plus elles rendent de sel. Et crois-tu que cela te sera concédé ? Il serait étonnant si l'art des Chimistes avait une telle puissance qu'il tirât des métaux et des pierres un sel pur : jamais il ne me fut donné de le voir. Mais je ne veux pas me battre - car cela n'apporte rien au débat - pour savoir si la chaux, qu'on tire des minéraux²⁸³, est du même genre que le sel, ou si plutôt elle a cet unique point commun que, desséchée par un très grand feu, elle se dissout à l'humidité : mais j'ai la certitude qu'on ne tire de ces corps qu'infiniment peu de sel purgé de toute terre : et d'aventure²⁸⁴ les os ne fournissent pas plus de sel que la chair molle. Enfin, pour insister un peu plus fréquemment (longtemps ?²⁸⁵) sur ce sujet, dans le blanc d'œuf il n'y a pas suffisamment de sel pour que les os du poussin, les membranes, les nerfs, et tous ses membres soient fabriqués à partir de là.

Le calcul.

²⁸² « Cinis clavellatus » : Cendre gravelée (Dezallier, 1757, p. XXI). Cet auteur appartient aux sociétés royales de Londres et de Montpellier et il s'est intéressé aux animaux vivants à coquilles en Inde et dans les ports d'Europe. Il associe pour la première fois les tests externes mais aussi le corps mou interne pour établir une classification des coquillages. Aussi sa rigueur lui a valu le besoin d'établir une table alphabétique des mots difficiles latins ou dérivés du grec utilisés couramment par la plupart des Naturalistes mais qui ne se trouvent pas dans les dictionnaires.

²⁸³ La chaux ou oxyde de calcium est obtenue par calcination à 600-800°C. de certains calcaires dits pierres à chaux. Elle ne provient donc ni de minéraux ni de métaux comme la traduction le laisserait entendre.

²⁸⁴ Nous pouvons supposer que les os et chairs ont été soumis aux expériences de distillations fréquentes au Moyen-âge.

²⁸⁵ Erreur (?) dans le texte original latin, « saepius » mis pour « diutius » .

Dès lors, qu'est-ce qui pourrait être plus mal prouvé que la formation à partir du sel ou du tartre du calcul dans les reins et la vessie ? N'est-ce pas un prodige, que le sel ne se dissolvait pas dans l'eau, mais que dans ce cas il se transforme en pierre ? Il faut croire qu'ils ont perdu l'esprit, les Médecins qui prescrivent des eaux nitreuses et salées à ceux qui souffrent des calculs. Serait-ce que quelqu'un se plaint d'avoir contracté des calculs en prenant des eaux mêlées de sel ou d'alun ; en tout cas l'usage de sel, même de façon immodéré, n'engendre pas cette maladie. Il arrive même que les calculs, réduits par la technique spagyrique²⁸⁶, présentent plus de terre et de soufre gras que de sel. C'est en vain qu'ils ont recouru à quelque esprit du sel, qui fixerait et ferait coaguler ; étant donné qu'ils ont l'habitude de recommander ce même esprit pour détruire les calculs : ainsi la raison mal réglée ne peut trouver d'issue. Voilà pourquoi, selon ce que je crois, j'en dirai peu de mots. Il n'y a pas une cause unique aux calculs, mais une cause variée et multiple : c'est un fait que la matière est un liquide visqueux et gras, qui durcit à la chaleur : elle se constitue progressivement -par assemblage- en raison de l'étroitesse des canaux, de la disposition et de la température²⁸⁷ des reins, du tracé des fibres. Souvent elle se forme à partir de grains de sable collés ensemble par un liquide visqueux : au vrai, les grains de sable se déplacent en même temps que le liquide séreux vers les reins, et se forment [p. 192] des restes d'aliments, d'une défectuosité du sang, ou d'une inflammation du foie devenu dur. Il n'y a pas non plus une seule forme ou nature pour tous -les calculs- ; les uns ressemblent au gypse, d'autres ont l'aspect du marbre, et sont plus durs. La plupart, quand on les brûle, alimentent le feu, et ont une odeur repoussante ; ce qui est l'indice qu'ils se sont constitués non tant de la terre ou du sel, que d'un suc gras et bitumineux : de là vient qu'ils sentent très souvent quelque chose de bitumineux. Libavius²⁸⁸ rapporte qu'ayant brûlé l'intérieur d'un calcul brisé, cela sentait quelque chose comme de la lie de bière, et que cela en avait même la couleur : c'est peut-être que le calcul s'était développé avec les restes de cet aliment. Et à présent, je n'examine pas si une sanie²⁸⁹ épaisse et visqueuse, asséchée et cuite longuement et lentement par la chaleur des reins, se solidifie en calcul, comme les anciens le croyaient ? Si par hasard une substance terreuse et limoneuse, une fois tout le liquide épuisé, se transforme en pierre ; et qu'ainsi un liquide séreux ou un suc salé et plus piquant, mélangé à la matière terrestre, est la matière même des pierres, comme Platérus²⁹⁰ le pensait ? Si les grains de sable, emmenés avec le sérum du sang vers les reins du fait d'une chaleur excessive du foie fournissent la matière des calculs : en effet ce sable, la plupart du temps, est mêlé à une sanie fétide, et se durcit extrêmement lentement. Que les Médecins décident eux-mêmes de la question : assurément, le sujet est vaste et très digne d'une recherche approfondie : mais cela serait pour moi une sorte de folie, car je ne possède pas tant la faculté de parler que celle d'écouter.

²⁸⁶ La spagyrie est une médecine naturelle qui prescrit spécifiquement à chaque patient des remèdes composés d'un mélange d'essences destiné à soigner le corps, l'âme et l'esprit. Des élixirs à partir de plantes et de matière première sont élaborés selon l'enseignement de Paracelse et des anciens alchimistes.

²⁸⁷ Ou *conformation*.

²⁸⁸ Libavius Andreas (1550-1616) médecin et chimiste allemand, écrit le premier livre de chimie systématique en 1597, *Alchimie*, qui donnait des instructions pour la préparation des acides.

²⁸⁹ Sanie : matière purulente, humeur fétide mêlée de sang qui s'écoule des plaies infectées.

²⁹⁰ Platérus (?).

SIMPLICIUS

Quelle est notre opinion sur la nature des pierres.

Il n'y a aucun doute, à mon avis, tu parles de la nature et des causes des pierres non seulement avec érudition, mais aussi avec élégance et abondance d'idées : au point que tu ne m'as presque rien laissé à dire sur le sujet. En vérité, pour ce qui est de la nature des pierres, il ne peut y avoir entre nous un grand différent : car je concéderai volontiers que toutes les pierres croissent par agrégation soit d'une boue collante, soit d'un liquide visqueux, ou d'un suc lapidifiant. Toutefois je pense qu'il ne convient pas d'exclure ni le sel, dont l'âcreté divise en menus morceaux les particules de terre et d'eau et en forme un mélange très raffiné, ni le liquide huileux et bitumineux qui lie ensemble les parties séparées et mal adhérentes. Nous parlerons du sel plus tard. Quant au liquide gras et bitumineux, il n'y a aucune raison de douter. Quoi d'autre en effet resserrerait en liant les minuscules grains de sable en un unique corps ? Qui ne sait pas que la poussière formée par l'usure des petites pierres des fleuves se durcit en pierre quand on la fait cuire dans de la résine fondue ? Ainsi la lithocolle²⁹¹, on l'imité en pétrifiant [p.193] de la colle faite de chaux et de graisse de porc ou d'albumine d'œuf. Et il n'est pas hors de vraisemblance que de nombreuses pierres soient assemblées par le moyen d'une exhalaison bitumineuse, que la chaleur souterraine a fait sortir. Ainsi, la plupart des pierres sont assez molles, aussi longtemps qu'elles sont enfouies dans les entrailles de la terre ; mais à l'air libre, elles durcissent²⁹², tout comme la coquille des œufs et les calculs de vessie. Parfois une chaleur un peu forte fait fondre cette colle, comme dans les régions de la Libye ; et les pierres à partir de ces grains de sables entassés ne peuvent être assemblées par aucun liant. Tu seras sans doute d'accord sans difficulté avec tout cela, toi qui n'ignores pas que l'ambre jaune, le jais²⁹³, et autres matières bitumineuses se durcissent en pierres ; toi qui as montré, en réfutant les Chimistes, que les calculs de la vessie contiennent une grande part de bitume.

La cause efficiente des pierres.

Mais je supporte difficilement que tu n'admettes aucune cause efficiente pour toutes les pierres, à l'exception de la chaleur et du froid. Ayant suivi à ce sujet Agricola²⁹⁴, tu abandonnes d'illustres Péripatéticiens comme Avicenne et Albert le Grand, qui, en plus des qualités sèches et stériles des éléments, auxquelles ils donnent un rôle plus grand qu'il n'est besoin, admettent une certaine force

²⁹¹ Lithocolle : littéralement, l'assemblage en pierre ou un ciment qui unit les pierres.

²⁹² Le modèle proposé et généralisé ici s'apparenterait essentiellement aux roches volcaniques.

²⁹³ Jais : variété de lignite fibreuse et dure, d'un noir luisant, qu'on peut tailler ou travailler au tour et polir ; appelée aussi « pierre de Gages », ville d'Asie Mineure.

²⁹⁴ Agricola (1494-1555), nom latinisé de son véritable nom allemand Georg Bauer qui signifie paysan, naturaliste saxon de la Renaissance qui a revalorisé les savoirs pratiques miniers. Médecin municipal de villes minières, il s'intéresse à la vie des mineurs et contribue au développement de l'industrie minière. Son chef d'œuvre typographique posthume, *De re metallica*, fut édité en 1557.

formatrice des pierres. Cette force plastique, après avoir rencontré une matière appropriée, modèle en tout lieu du monde des pierres semblables. Et je ne vois pas pourquoi Agricola accable Albert de tous les reproches, pour la raison que celui-ci fait dériver les formes des pierres de processus séminaux, et non d'un concours désordonné d'éléments. Certes cela ne se rapporte même pas à notre propos, le fait que les formes, les figures, les différences de toutes les gemmes tirent leur origine de nulle autre chose que d'une combinaison variée d'éléments, et d'une agglomération indéterminée de matière en mouvement²⁹⁵. Et si les formes des choses mélangées se conservent intactes dans le mélange, comme nous l'avons déjà fait remarquer ailleurs très clairement, qu'est ce qui produit une forme nouvelle de pierre ou de mélange, si rien ne provient des ressources inépuisables de la nature, ni des processus séminaux ? Qu'est-ce qui régit la chaleur, qui règle le froid, qui rassemble la matière, et enfin qui habille en tous lieux les gemmes des mêmes figures, si ce n'est l'esprit inaltérable, vivant et régnant partout, source des processus séminaux et instrument de l'artisan suprême ? C'est de là que partent sans aucun doute la variété et différence de toutes les choses, plutôt que d'une matière instable ou d'une combinaison²⁹⁶ indéterminée d'éléments. Et nous n'attribuons pas pour cela aux gemmes une vie ou une âme ; en effet, ce n'est pas par la propagation des individus qu'elles conservent leurs aspects, non plus qu'en elles-mêmes (?), mais comme [p.194] les animaux²⁹⁷, qui naissent d'une putréfaction, elles ont leurs semences dans la nature commune et universelle. En effet, une exhalaison ensemencée par l'esprit lapidifiant, quand elle trouve l'endroit approprié, une chaleur convenable et une matière bien agencée, forme une pierre ou une gemme ; la gemme est façonnée à partir d'un suc propre et purifié, la pierre à partir d'une matière impure et grossière. Et, contrairement à ce que tu admettais, le cristal, l'escarboucle²⁹⁸ et autres gemmes n'empruntent pas leur figure du lieu comme si c'était un vase : puisque plusieurs se constituent d'une unique racine, voire de la même matrice, comme les grains sont contenus dans l'épi ; puisque enfin elles se différencient souvent par leurs racines bulbeuses. Certes les gemmes²⁹⁹ croissent dans leurs propres mines, et ce qui est très étonnant, d'autres gemmes prennent la place de celles qui disparaissent. Toutefois nous ne pourrions croire que cet accroissement se fasse véritablement par le moyen d'un aliment produit à l'intérieur : mais je pense qu'elles grandissent par le moyen d'ajouts -par application- ou de couches : car celles qui deviennent

²⁹⁵ Notion de fluides coulant çà et là, circulant des veines et fissures du sous-sol.

²⁹⁶ Crasis = gr. krâsis, agrégat, combinaison (Du Cange, 1678/1883, Tome 2, p. 606).

²⁹⁷ Sans doute fait-il référence aux idées du naturaliste flamand Jan-Baptist van Helmont (1577-1644) qui engendrait grenouilles, limaces, sangsues et herbes des marais à partir des odeurs nauséabondes. Il est surtout réputé pour sa fameuse recette de transmutation de froment en une portée de souris en 1648. Toutes ces idées sur la génération spontanée seront réfutées par les expériences en 1668 du naturaliste italien Francesco Redi (1626-1697). Il démontra rigoureusement que les asticots d'une chair en putréfaction ne naissaient pas spontanément mais qu'ils étaient les larves issues d'oeufs déposés par des mouches.

Cf. Giordan, A. (1987). *Histoire de la biologie* (Tome 2, pp. 228-229). Paris : Technique et Documentation.

Cf. Valléry-Radot, R. (1883). *M. Pasteur, histoire d'un savant par un ignorant*. slnd

²⁹⁸ Nom donné autrefois à une variété de grenat rouge foncé d'un vif éclat (Du Cange, 1678/1885, Tome 4, p. 97).

²⁹⁹ Gemme, nom féminin issu de « gemma » qui en latin signifie pierre précieuse ou bourgeon. Les flux chauds des exhalaisons est actif, initialement il enrichissent le filon de minerai par un pouvoir producteur, puis le vident à la longue. Il y aurait une régénération de gîtes métallifères déjà vidés. (Ellenberger, 1988, pp. 199).

des pierres grâce au suc, ne grandissent pas par un autre moyen. Ainsi nous voyons le gypse enfler par l'arrivée d'un nouvel écoulement : de là vient que parfois des ossements humains sont extraits des gisements de gypse, phénomène observé dans ces régions il y a deux ans. C'est pourquoi je réunirai les causes des pierres dans celle qui est la plus éminente ; en général la matière, c'est le suc lapidifiant, dont la pureté, la transparence et l'éclat viennent d'un mélange raffiné tantôt des éléments, tantôt des principes : quand les parties sont trop grossières et limoneuses, elles dégénèrent en pierres communes et opaques. Il est vrai que l'opacité n'est pas due seulement à la terre, de même que la transparence ne provient pas uniquement de l'eau : en effet ni dans la pierre spéculaire³⁰⁰, ni d'aventure dans le diamant et autres gemmes, l'eau ne l'emporte sur les autres éléments : puisque rien n'est plus sec que la pierre spéculaire, ni plus dur que le diamant. Ainsi, il semble que la transparence des gemmes viennent davantage d'une disposition des parties continue, qui n'est presque jamais interrompue par des pores, que de l'eau : d'ailleurs cette continuité, c'est la désagrégation en minuscules atomes des éléments mélangés qui la produit. Puisque lorsque la terre et l'eau ont été broyées en très fines particules et liées par l'esprit lapidifiant, il ne reste pas le moindre espace vide ; en outre, elles n'arrêtent pas les rayons de lumière, et ne sont pas terminées par des contours particuliers, mais par une limite unique et commune. Nous avons déjà expliqué ailleurs que le verre broyé ou brisé perd sa transparence en même temps que sa continuité : en vérité le papier qui [p.195] est criblé de nombreuses ouvertures est opaque, à moins que de l'huile, qu'on y a répandue, n'en ferme les pores. Par ailleurs, qu'est-ce qui morcelle aussi finement les particules de terre et d'eau, sinon le sel, qui coupe de son âcreté la terre dissoute par l'eau, comme avec des poignards, et qui la coagule en pierre, une fois l'humidité épuisée ?

Les formes des pierres ne sont pas tirées d'ailleurs que des processus séminaux : de là viennent leurs propriétés : de là sont formées leurs figures constantes, et en tout lieu semblables à eux : de là enfin, si on en croit Anselme Boèce³⁰¹, provient la si grande variété de leurs couleurs. Puisque c'est par leurs figures, leurs couleurs, comme par leurs traits distinctifs et leurs particularités, empreints par la nature elle-même, que les gemmes se distinguent : il n'est pas contraire à la vérité que non seulement les figures mais aussi les couleurs soient produites par les semences de la nature ; particulièrement dans les gemmes dont la figure est constante et les couleurs bien déterminées. Dans les plantes et les êtres animés, la variété des couleurs dans son ensemble ne se répand pas à cause de la réflexion de la lumière extérieure ni du mélange des éléments ; mais grâce à la vertu formatrice et plastique elle-même. En effet, quoi d'autre pourrait être imaginé, pour expliquer ce qui pare la queue remarquable du paon de tant de couleurs ? Qu'est-ce qui y dessine si artistement autant d'yeux, de cercles, tels des petites lunes ? Est-ce que par hasard, ils se forment de la combinaison elle-même ? Qu'est-ce donc qui

³⁰⁰ Minéraux qui peuvent se diviser en feuillets minces, transparents et capables de réfléchir la lumière comme un miroir, tel le mica.

³⁰¹ Anselme Boèce de Boot (1550 ?, 1634), médecin de l'empereur Rodolphe II a écrit un ouvrage en 1609 sur *Historia gemmarum et lapidum*, traduite en français en 1644 par A. Toll, *Le parfait joaillier, ou histoire des pierreries : où sont amplement descrites leur naissance, juste prix, moyen de les cognoistre, & se garder des contrefaites, Facultez medicinales et proprietiez curieuses*. Lyon : Jean-Antoine Huguétan.

teint de couleurs variées une même plume ? D'où vient ce rapport des couleurs si approprié et attrayant ? Est-ce que ce n'est pas cette juste proportion des éléments elle-même ? Mais je n'ai pas l'intention de prolonger la discussion sur l'origine des couleurs. Je reviens à la cause efficiente des pierres, que nous appelons « esprit lapidifiant » : car l'esprit, très largement répandu, quand il rencontre une matière dure et moins malléable, il la change en pierre ou en gemme : et toute différence et variété des espèces est due aux processus séminaux, dont la nature est remplie.

L'esprit lapidifiant

Cet esprit lapidifiant assemble les grains de sable : là où on sort du Rhône et autres fleuves des épées, des sandales et autres choses du même genre, c'est déjà transformé en pierre : c'est dans les montagnes, principalement, et dans les fleuves que cet esprit règne, caché : ainsi on trouve rarement dans les campagnes très éloignées des fleuves ou des montagnes une grande quantité de pierres. Comment se fait-il, tu vas demander, que tant de pierres sont apparues à l'endroit des plaines d'Hercule (on les appelle la Crau), près d'Arles ? Gassendi³⁰² pense que cette accumulation prodigieuse de pierres [p.196] n'a pas été produite par autre chose qu'un débordement du Rhône ou de la Durance et une longue stagnation des eaux. Pour preuve, les pierres sont extrêmement petites sur les bords et extrémités, plus grandes au centre. Ainsi le sel dissout dans un creuset, une fois que l'eau s'est évaporée sous l'effet d'une chaleur modérée, laisse des grains plus grands au centre, plus petits aux extrémités. C'est dans cet endroit, parmi les pierres très serrées, que pousse une sorte d'herbe qui engraisse le bétail d'une façon extraordinaire : en effet il n'y a pas faute en ces lieux d'esprit nitreux et d'humidité grasse. Est-il nécessaire que l'esprit lapidifiant soit rempli d'une grande quantité de sel ? Sur le sujet, je devrai absolument faire savoir si je pense que toute agglomération des pierres provient du sel : j'en parlerai bientôt : pour l'instant, j'examine la cause efficiente et générale des pierres, qui est désignée par l'expression « esprit lapidifiant ». Non pas que je sois fou au point de penser que des esprits, privés de toute puissance, dégénèrent en corps ; cela est en effet totalement absurde, et hors du bon sens :

Mais j'appelle « esprit » une substance extrêmement subtile, dont le rôle est d'affermir un corps déterminé. Les corps donc, saisis par cet esprit, deviennent des pierres, ils sont durcis comme par une vision de Gorgone³⁰³, lorsque le suc pétrifiant (succus lapideus) s'enfonçant dans les pores du corps et y pénétrant profondément, prend possession de chaque petit corpuscule et les unit. Ainsi on trouve en Bohême des arbres changés en pierres ; ainsi les calculs de la vessie se recouvrent d'une croûte, couche après couche ; ainsi on a vu avant les années 55, dans la ville d'Agedincum³⁰⁴ des Sénon, un

³⁰² Pierre Gassendi (1592-1655), philosophe contemporain de Descartes et Du Hamel, est opposé aux concepts mécanistes de Descartes, assimilant les animaux à des machines. Il s'est interrogé sur l'origine des pierres et des fossiles.

³⁰³ Les Gorgones sont des monstres fabuleux de la génération préolympienne, avec une chevelure de serpents, des dents de sangliers et des ailes d'or, qui changeaient en pierre quiconque les fixait. Elles étaient trois sœurs, Sthéno, Euryalé et Méduse, la seule mortelle.

³⁰⁴ « Agendici » est utilisé dans le texte original. Mais selon un compte-rendu des séances à l'Académie des Inscriptions et des Belles-lettres de décembre 1857, publié par Ernest Emile Antoine Desjardins, M. de Saulcy lit

embryon en pierre qu'une femme avait porté durant 28 années ; ainsi, enfin, le fond de certaines rivières se pétrifie. Il y a un cours d'eau en Auvergne, dont le lit pétrifié grossit peu à peu, du fait que les eaux pleines du germe lapidifiant (germino lapidifico) le durcissent. D'où vient, s'il te plaît, que des coquillages pétrifiés se trouvent loin de la mer, et même dans les montagnes, sinon que la nature, ou l'esprit de l'univers, qui imprègne toute chose, ne s'interrompt jamais, suit les idées ou les processus séminaux qui sont imprimés en lui, qui ne sont rien d'autre que des traces d'idées, et forme des coquillages à partir du suc lapidifiant ? Est-ce que par hasard la terre, ébranlée par de grands mouvements, ne s'entrouvre pas parfois, et alors des poissons ou des coquillages en sortent, que l'esprit ou le suc pétrifiant (suco lapidescente) durcisse ? Lorsqu'en Carie³⁰⁵, dit Sénèque³⁰⁶, une telle eau avait jailli³⁰⁷, quiconque avait mangé de ces poissons mourut, [p.197] -poissons- qu'un nouveau cours d'eau, inconnu avant ce jour sous le ciel, exhiba. Rien d'étonnant à cela ; c'étaient en effet des corps gras et pleins, comme sortant d'un long repos ; par ailleurs oisifs, et engraisés dans les ténèbres, et privés de lumière, de laquelle provient la bonne santé. Or que les poissons³⁰⁸ peuvent naître dans cette profondeur des terres, la preuve en serait que les anguilles aussi naissent en des lieux obscurs : nourriture elle-même indigeste en raison de son inactivité ; étant donné que la profondeur de la vase les cache profondément. En voilà assez sur la cause efficiente des pierres, qu'Albert appelle assez justement « esprit minéral » : car cet esprit est nécessairement aiguisé, pénétrant et salé, afin que, comme du mortier, il lie et joigne : d'ailleurs nous avons déjà montré plus haut que cet esprit nitreux est infus dans la nature entière : de sorte que c'est en lui qu'on trouve la vertu de procréer (procreandi vis) et la cause de l'engendrement (causa gignendi) : il est certainement pourvu d'une vertu prolifique (vis prolifica) et reproductrice en soi. Parfois, il se répand comme une exhalaison, et il en pénètre plus facilement les canaux des corps ; parfois il est gras et sulfureux, et il traverse plus aisément les corps bitumineux et huileux ; souvent il s'attache à un liquide aqueux, afin de pénétrer la matière terrestre de tous côtés ; mais s'il n'était pas aiguisé ni salé, il n'aboutirait pas à un mélange raffiné, et ne pourrait pas pénétrer ni lier la matière.

un mémoire sur la première bataille de Paris par César. Il est question de nommer préférentiellement la ville de Sens, Agedicum, en s'appuyant sur les monnaies gauloises.

³⁰⁵ Carie : ancienne région côtière, au bord de la mer Egée, du sud-ouest de l'Asie Mineure. Ancienne province hellénique de la Grèce antique, elle fut annexée par Rome en l'an 133.

³⁰⁶ Gassendi avait déjà repris ce passage célèbre de Sénèque (vers -4 av. JC_65 ap. J.-C.), philosophe romain stoïcien, qui attestait l'existence d'une vie souterraine aquatique contenant des poissons empoisonnés émergeant à la surface de la Terre lors d'un séisme, « *Naturales quaestiones* » Ou *Recherches sur la Nature*, livre III, chapitre 19, pp. 1-3 (?). Ce passage [Lorsqu'en Carie, ... Les cache profondément] du texte de Du Hamel reprend presque mot pour mot le texte de Sénèque, traduit et annoté par F. et P. Richard (1935, Paris : Garnier Frères). La lecture de celui-ci précise simplement la ville de Carie, Idymus.

³⁰⁷ « exillisset » corrigé par exsiluisset.

³⁰⁸ « prisces » corrigé par pisces.

Le sel est un principe de la coagulation, mais non le seul.

C'est pourquoi le sel tantôt sous le nom de cause efficiente tantôt sous celui de cause matérielle concourt à la génération des pierres, ou à leur concrétion : ce qui est sûr, c'est que la matière entièrement vidée de sel ne devient jamais pierre ; et partant d'un mélange de terre et d'eau, si on en retire le sel, elle ne donnera rien d'autre que de la boue. Je ne suis pas inquiet par la subtilité des supputations que, suivant Libavius, tu as mises en avant contre l'opinion des Chimistes. En cela du moins, j'admire l'inconséquence de ce même Libavius ; car dans le triomphe de l'Alchimie, à coup sûr plus âpre qu'il ne convient à un Philosophe, discutant contre Riolan³⁰⁹, il prouve par de nombreux arguments que le sel est la cause de la concrétion. Que le sel condense les solutions de métaux, qu'il durcit tous les corps ; que les coquilles d'œufs et les coquillages marins tirent leur dureté du sel ; que le nitre et une sorte de lessive se pétrifient : pour ne pas citer les salures dans les conduites desquelles les tufs et les pierres se forment. Qui ne sait pas que les arbres sont d'autant plus solides qu'ils contiennent plus de sel ? Ainsi on extrait une grande quantité de nitre du chêne, du hêtre, du « gaiacus »³¹⁰. Qu'ajouterais-je sur la dureté de pierre du sel de gemme ou du fossile, sur les concrétions pierreuses, qui se fixent aux chaudrons, lorsqu'on y fait bouillir de l'eau salée ?

[p.198] Enfin les calculs et le tuf³¹¹ des articulations, Libavius pense, à l'encontre de Riolan, qu'ils durcissent à cause d'une humeur salée ; du fait que les calculs rendent souvent un mucus, qui, bien que salé, corrosif et très âcre, une fois mêlé au tissu, se durcit en pierre ; du fait qu'un liquide arthritique au goût plus salé que le nitre apparaît. En fin de compte, non seulement il ridiculise Riolan, mais aussi il le harcèle de reproches, lui (Riolan) qui niait qu'il y eût du sel dans le sang, sous prétexte qu'il en avait obtenu une concrétion alors qu'il en avait enlevé, par une triple cuisson, tout le sel. Et si, dit-il, la nature met le sel à part, par conséquent, il était auparavant dans la nourriture. Il arrive même qu'une chose finisse par devenir d'autant plus salée qu'on la fait cuire plus longtemps : donc ce n'est pas la technique, ni même la nature qui, à l'aide d'une cuisson multiple, fait partir le sel. Et ces choses-là que tu dis tiennent certainement de Libavius ; mais tu as l'habitude d'être irrésolu dans tes principes. Sans doute, je pourrais facilement pardonner à ton esprit versatile, si tu ne traitais pas très outrageusement ceux qui pensent autrement que toi. Mais peut-être, convaincu et entraîné par la vérité même, tu as été déçu par l'opinion des Chimistes : cela même, examinons-le ; et, si je ne me trompe, toute l'affaire peut être appréhendée par la conclusion de l'un ou de l'autre argument.

Objections.

Ce corps (le sel) ne peut pas donner consistance, dans la mesure où il n'est pas ferme, ni fixe, ni compact, et où il dissout les liens des corps plutôt qu'il ne les colle ensemble : or le sel est de tel genre,

³⁰⁹ Jean Riolan, fils, (?-1677), docteur de la faculté de Paris, professeur -royal en anatomie et botanique, puis médecin de Marie de Médicis, très prévenu vis-à-vis des Anciens et très critique vis à vis des anatomistes modernes et des chimistes.

³¹⁰ Non traduit.

³¹¹ Pierre spongieuse et friable

que, débarrassé de sa terre, il n'a aucune consistance ni solidité ; qu'il ronge les corps plutôt qu'il ne les attache : par conséquent le sel ne fixe pas ni n'assemble des pierres, mais plutôt il dissout leur assemblage par sa ténuité ; dans l'eau ou dans l'air humide, il fond ; et il n'a aucune solidité sinon celle qui lui vient de la terre. Dès lors, quoi de plus absurde que de former un calcul à partir du sel, alors que le sel n'a pas pour habitude de s'agglomérer dans un milieu humide ; alors que, une fois qu'on a dissout un calcul, il présente très peu de sel, et une très grande quantité de soufre bitumineux ; et enfin, alors que les salures et les eaux nitreuses attaquent le calcul, dispersent les grains de sable. Est-ce que par hasard d'une même cause découlent des effets contraires ? Le sel produit le calcul, il le dissout : cela n'est pas cohérent. C'est à peu près là qu'aboutissent tous les arguments que Libavius rassemble contre l'opinion des chimistes : certainement son bavardage a quelque chose de subtil ; cependant il ne sera pas très difficile de répliquer à de faux raisonnements de cette sorte : car il y a un moyen de réduire tous ces sophismes à la fois, c'est de dire que le sel est un principe de la coagulation et de la solidité, mais non le seul.

Éclaircissements.

Mais le sel dissout les corps, il ne les forme pas -par assemblage- ; qui t'accorderait [p.199] que le sel ne fixe ni ne coagule rien ? Qui ne sait pas qu'un certain sel est volatile, un autre fixe : que l'un pénètre les corps et les dissout, mais qu'un autre les lie et les resserre ? Que dire de plus ? Le sel, étant préparé de diverses façons, accomplit également des tâches diverses, cela personne ne l'ignore. Dilué dans beaucoup de liquide, il ne forme pas concrétion ; mais privé de liquide, il durcit. Or la terre, plus que le sel, partage avec les pierres la dureté et la solidité : en fait la chaleur fait sortir le liquide, et la boue, qui est la matière de la pierre ou du calcul, devient dure. Quant à nous, nous ne rejetons ni la terre, ni la chaleur ; mais la terre, purgée de tout son sel, se fend et ne pourrait durcir en pierre. Le sel unit la terre avec l'eau, c'est comme le joint commun de l'une et de l'autre : ils subsistent par assistance mutuelle : car la terre retient le sel, afin qu'il ne se dissolve pas dans l'eau ; le sel à son tour maintient les atomes de terre, afin qu'ils ne se dispersent pas en fine poussière.

La formation du calcul.

Je ne conteste pas que les calculs soient constitués de boue terrestre, ou de restes d'aliments, et de tartre en quelque sorte : mais je ne présume pas l'absence de sel du fait que les calculs soient formés dans les reins ou la vessie et non en d'autres lieux, sauf exceptions. Le certain, c'est qu'il y a parmi les Médecins un très large accord pour dire que le calcul, partant d'un liquide gras et visqueux, devient dur par la force de la chaleur, comme la boue dans un four : ainsi cela serait vrai. Mais les Médecins allèguent une cause commune (générale), à tout le moins éloignée, non proche. Nous cherchons à savoir en effet à partir de quels éléments ce mucus s'est développé. Est-ce qu'il se constitue seulement à partir de la terre et de l'eau ? Mais la boue dans l'eau ne devient pas pierre ; et le liquide ne manque pas dans les reins ni dans la vessie. Est-ce qu'il est durci par la chaleur ? Qu'est-ce donc, pourquoi les

vieux souffrent des calculs plus souvent que les jeunes ? Comment auraient-ils davantage de chaleur ? Pourquoi l'urine dans les pots de chambre se pétrifie, si c'est par la chaleur, non par la faiblesse de la faculté d'expulsion, que s'étant accumulée, elle durcit ? Pourquoi le mucus des narines, des intestins et autres réceptacles ne se condense pas en pierre ? J'oublie de dire que la nature des reins et de la vessie, leur siccité, contribue beaucoup à la naissance du calcul : ainsi les tufs (tartre ?) se forment sur les dents à partir des déchets alimentaires, et chaque partie (des organes ?) attire à elle un aliment proche (qui a des affinités). En définitive, la formation du calcul dépend beaucoup d'un certain entrelacement de fibres, qui en tout cas tire son origine de la texture des fibres séminales, laquelle provient de la disposition des fibres chez les parents : voilà pourquoi cette maladie se transmet des parents aux fils. En somme, il n'y a pas une nature unique pour tous les calculs, ni à plus forte raison une cause ou origine unique : les uns sont sablonneux et rugueux ; [p. 200] d'autres sont lisses et nets ; d'autres enfin sont de gypse et friables : dans quelques-uns le sel s'y trouve en abondance, dans d'autres, c'est une sorte de liquide gras et bitumineux. C'est pourquoi il n'y aura pas qu'une seule façon de soigner cette maladie. Les esprits nitreux et sulfureux sont souvent plus utilement employés à dissoudre les calculs que les esprits aigres et mercureux (mercurialis). De nombreux (produits) provoquent la faculté d'expulsion et la stimulent, pour qu'elle chasse les grains de sable ou les petits cailloux ; comme les cendres de langoustes, de poissons venimeux et de scorpions, les esprits de vitriol, les esprits provenant de bois nitreux, hêtre, chêne, buis et autres, sont expulsés par action de descente (descensus). Glaberus recommande fortement l'huile tirée de la semence de frêne, ou s'il n'y en a pas suffisamment, extraite de l'arbre même : mais il faut qu'elle soit rectifiée par l'esprit de sel et débarrassée de toute mauvaise odeur. Et l'huile épaisse, privée d'esprit de sel, qui restera au fond, (sera) mélangée à de la cire, afin d'obtenir l'aspect d'un onguent ; enduit sur un linge, et mis comme application externe sur les reins, cela soulage grandement le malade. Mais assez parlé de tout cela : écoutons maintenant Ménandre nous parler, si cela lui convient, des pierres en particulier.

ANNEXE 13

**TRADUCTION LATINE D'UN EXTRAIT DU CHAPITRE 7, LIVRE 2
de Jean-Baptiste DU HAMEL (1660)
inédit**

DU HAMEL, J.-B. (1660). *De meteoris et fossilibus, per dialogos, libri duo* (Chapitre 7, pp. 200-216 ; Extrait traduit pp. 205-211). Paris : Pierre Lamy.

Traduction, Roland Duflot

Notes de bas de pages, Patricia Crépin-Obert

LIVRE 2

Des dialogues à propos des fossiles :

La nature, l'origine et l'usage des objets tirés du sol

[p. 200]

Chapitre sept.

Les diverses sortes de pierres

I Sur le magnétisme selon l'opinion cartésienne. II Au sujet des pierres prises séparément, là où ça diffère au sujet de leurs formes, de leurs couleurs, et de leurs vertus. III Où il est traité des différents genres de roches et de marbres.

[p. 205]

SIMPLICIUS

[...]

Mais en vérité continuons sur un autre sujet, et s'il nous plaît nous abandonnerons ces discussions infinies pleines de disputes philosophiques ; & tu pourras exposer l'histoire des pierres avec autant de gain de temps.

MÉNANDRE

[...]

Les pierres auxquelles on attribue une forme certaine

[p.209] Cette pierre Osteocolla³¹² est désignée par divers noms, et il en existe différentes sortes. La première et principale espèce reproduit un os brisé quant à la forme et une brûlure quand à la couleur. Et quand on la brûle, elle exhale une forte odeur d'urine ; au point qu'elle semble n'être rien d'autre qu'un os transformé en pierre. Près d'Hildeberg, et en d'autres lieux d'Allemagne, on trouve une certaine pierre sablonneuse et friable, d'aspect noueux, et semblable à un tronc d'arbre : de sorte que je donne presque raison à ceux qui pensent que c'est une sorte de plante : car elle est plus molle en terre, et mise hors de terre, elle durcit. Dans la Marche du Brandebourg, Anshelmus³¹³ rapporte que cette plante, qui a au printemps des feuilles étroites et noirâtres, se dresse légèrement (pour honorer) devant un homme noble. Un peu de moelle emplit le centre de cette pierre, rien n'est plus utile -que cette moelle- pour remettre en place les os déboîtés. A ce même usage on utilise une autre pierre dont l'aspect est semblable, mais la consistance plus dure : on prescrit de verser une ou deux drachmes de poudre pure broyée de n'importe laquelle de ces deux pierres. Parfois cependant on remet en place l'os cassé, on l'attache, et tout ce qu'on a l'habitude de faire, on ne le néglige pas. On attribue presque les mêmes propriétés à une pierre qui est distillée, qu'on appelle stalactite ou osteocolla : car elle consolide également les os. Dans les canaux souterrains, ou dans les conduites d'eaux chaudes, elle se forme en pyramides dures, lourdes, blanches, brillantes au-dedans.

La corne fossile

La corne fossile ou cératite n'est pas complètement incompatible avec l'osteocolla : elle est issue généralement de la marne, dont on a dit plus haut qu'elle n'est rien que de la moelle de terre, durcie par le suc lapidifiant. Parfois les branches d'arbres sont enduites de ce liquide laiteux et gras : de sorte qu'à proximité se forme une infinie variété de pierres, de propriétés et facultés tout aussi diverses. Celles qui sont grasses, gluantes et molles sont préférées aux autres ; elles dessèchent et sont astringentes ; elles soignent les diarrhées du ventre et les hémorragies. Mais celles qui ont une odeur agréable, elles se recommandent comme les meilleurs contrepoisons ; elles terrassent les fièvres pestilentes et les maladies par empoisonnement ; en infusion un poids d'une seule drachme avec du vin ou un moyen approprié, elles provoquent une forte sudation grâce à laquelle, [p. 210] si quelque poison est caché à l'intérieur, il est chassé au-dehors.

³¹²

³¹³ Thomas Anshelmus, imprimeur de Bade, territoire de l'ancien Etat de l'empire germanique ou Marche de Brandebourg constitué au XII^e siècle.

La corne d'Ammon

Je n'ajouterai rien au sujet de la corne d'Ammon que ce que présente la corne de bélier, et elle montre clairement une couleur dorée imprégnée de suc d'alun : rien au sujet de cette pierre, qu'on trouve près de Compostelle³¹⁴, et qui ressemble à une corne de boeuf, qui, coupée en lamelles (rotulas) présente une croix noire : elles sont utiles à l'hémorragie.

Les glossopètres

rien au sujet des glossopètres, qui représente très bien une langue de serpent.

La pierre céraunie

A cette dernière la pierre céraunie est semblable, en son milieu on découvre de nombreux petits trous (foraminula) : et il n'est pas probable qu'elle a été jetée à bas depuis les nuages sur la terre : je croirais plutôt qu'elle n'est rien d'autre que coins, haches, marteaux ou autres instruments de même genre transformés en pierres : car très souvent la pierre céraunie a la forme d'un coin ou d'une hache. Dans la même série je pense qu'il faut placer l'ombria et la brontée³¹⁵ : certes on n'en trouve pas de forme oblongue mais hémisphérique ; et je penserais que ce n'est pas autre chose que des carapaces de tortues récemment vidées et changées en pierres par l'esprit le souffle de Gorgone. Beaucoup de choses concourent à favoriser cette opinion. Elles sont en effet de même couleur que les carapaces ; elles sont bien divisées en certains petits carrés ; leur forme y correspond parfaitement.

Les bélemnites

La bélemnite atteint presque la forme de la pierre céraunie, elle a été appelée ainsi du fait qu'elle ressemble à une pointe de flèche. Comme elle égale la grandeur d'un doigt, on l'appelle le doigt de l'Ida parce que on la trouve souvent sur le mont Ida³¹⁶. Parfois elle porte en son milieu de la terre, un petit caillou ou du sable mobile. Je suis presque amené à croire que ces pierres ne sont rien d'autre que des pointes de flèches, qui, par l'esprit ou le suc lapidifiant ont été transformées. Comme elle est quelque peu diaphane à l'instar de l'ambre de Falerne³¹⁷, et qu'elle attire la limaille, on l'appelle lyncurium. Il y a en elles toutes, une fissure assez visible qui fait que, quand on les frappe, elles se fendent en longueur. Si on les met en contact avec le feu, elles exhalent une mauvaise odeur de corne ou d'os brûlé. De nombreux médecins les utilisent à broyer les calculs : cette faculté en vérité leur est commune

³¹⁴ Appelée aussi pierre de Croix (Diderot et d'Alembert, 1765, Vol. 12, p. 577). Du fait d'observer une croix à l'intérieur lorsqu'on la coupe, et du fait d'être une pierre tendre et facile à tailler, les espagnols en ont fait des chapelets ou des rosaires.

³¹⁵ La brontée : actuellement encore appelée pierre de tonnerre serait soit de la pyrite de fer radiée soit des fossiles de spatanges fréquents dans les bouches du Rhône. Ce sont des oursins irréguliers fousseurs dont certaines espèces présentent un test dont la forme caractéristique semi-globuleuse est structurée en une mosaïque de plaques bien marquée. Présentant des stries et des lignes, elle ressemblait pour les anciens à une tête de tortue.

³¹⁶ Les prêtres du Mont Ida purifiaient les nouveaux arrivant sur l'île de Crète par ces « pierres de tonnerre ».

³¹⁷ Falerne : célèbre vignoble de Campanie, ancienne province de l'Italie.

La pierre judaïque

Avec de nombreuses pierres et particulièrement avec la judaïque³¹⁸, qui représente par sa forme un noyau d'olive. On remarque diverses lignes placées à intervalles égaux entre elles gravées dans cette pierre. La plupart du temps elle est fragile et molle ; assez polie à l'intérieur, elle brille comme le marbre.

Les trochites

A celle-là ressemble la trochite appelée ainsi parce qu'elle imite la forme d'une roue ou d'un tambourin³¹⁹ : une fois cassée, elle devient brillante ; elle est aussi divisée par diverses lignes. [p.211] Non pas en long, comme les traits de la pierre judaïque, mais en menant du milieu à la circonférence.

Les entroques

Quand beaucoup sont réunies ensemble, elles constituent une pierre du nom d'entroques³²⁰, dans la structure de laquelle il y a ceci d'admirable que les rayons du troche inférieur dépassant (du bord), ils vont sous les sillons du supérieur dans un agencement si élégant qu'ils semblent disposés et ordonnés par l'industrie humaine.

Il y a un nombre incalculable d'espèces de pierres qui tiennent leur appellation de leur propre conformation, de leur couleur ou encore de leur utilisation. Si nous voulions toutes les passer en revue, cela ne serait pas raisonnable et notre travail serait sans utilité. Car il est de peu d'importance de connaître les pierres de petite taille, sauf si elles ont une apparence notable ou un usage remarquable. C'est pourquoi je laisserai de côté sans regret l'Ostracite, qui ressemble à une huître, la Strombite, qui a une forme conique comme un limaçon d'eau, la Conchyte, spiralée comme un coquillage et creusée de sillons ; on l'appelle aussi Chrysité, du fait – paraît-il – qu'elle lance des éclats qui ont la couleur de l'or. De même que l'Amnochryson dont on tire une poussière dorée utile aux écrivains, c'est une pierre sablonneuse qui se broie facilement. L'Ammonite se compose de grains de sable semblables à des œufs de poisson. L'Héphestite brille d'une coloration rouge et, telle un miroir concave, réfléchit les objets. Et vous ne vous attendez pas à ce que je traite plus longuement des silex et des pierres à polir qui servent à aiguiser le fer, dans la mesure où ce sont des choses que vous connaissez bien.

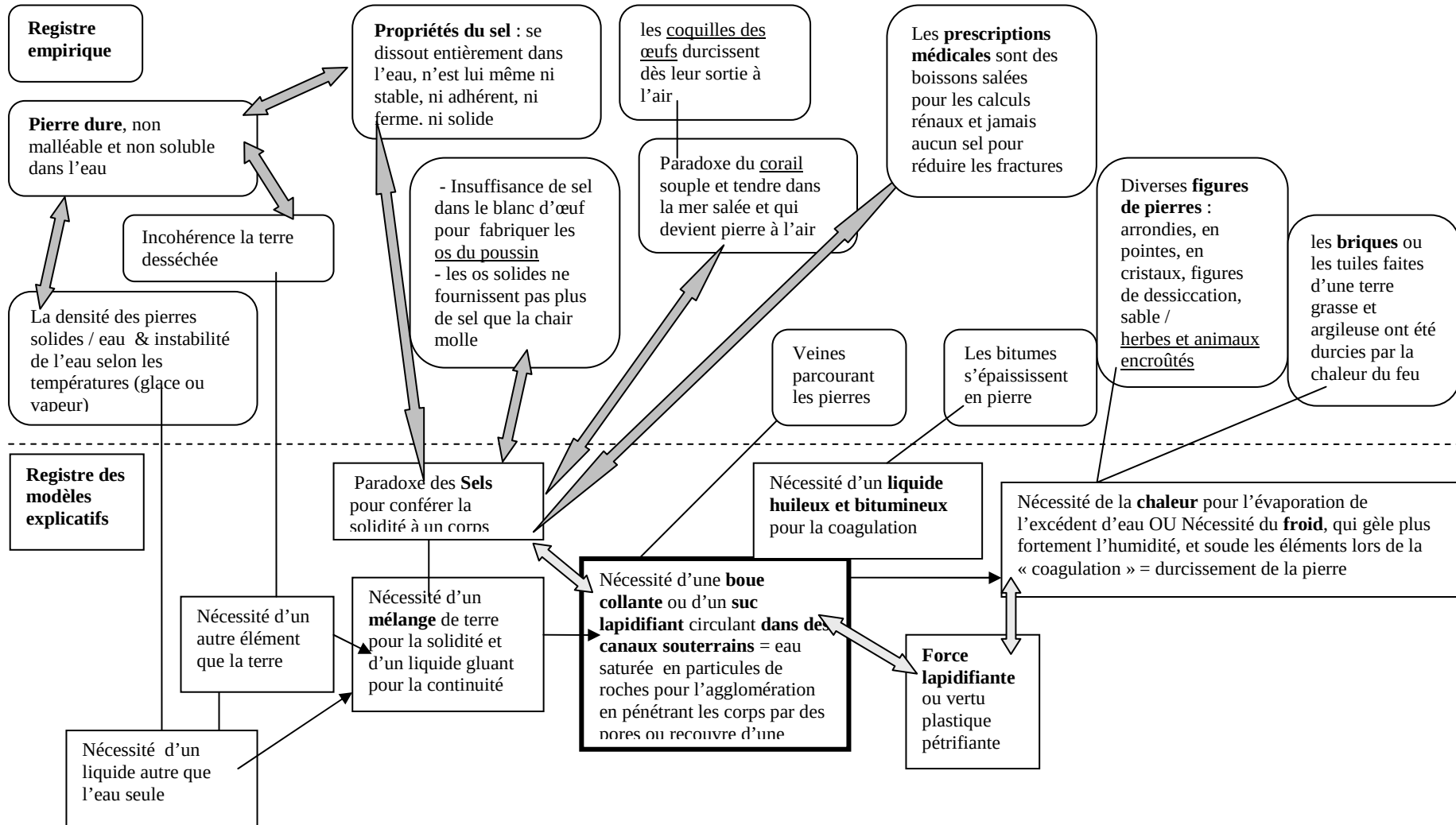
³¹⁸ En définitive, elles sont interprétées aujourd'hui comme des radioles d'oursins (Guettard, 1786).

³¹⁹ Tympanum = tambourin en référence à un texte de Cesalpino, 1596, *De metallicis liber tres*, (livre III, Chap. XLIII, pp. 131-134), référencé par Ellenberger (1988, p. 176).

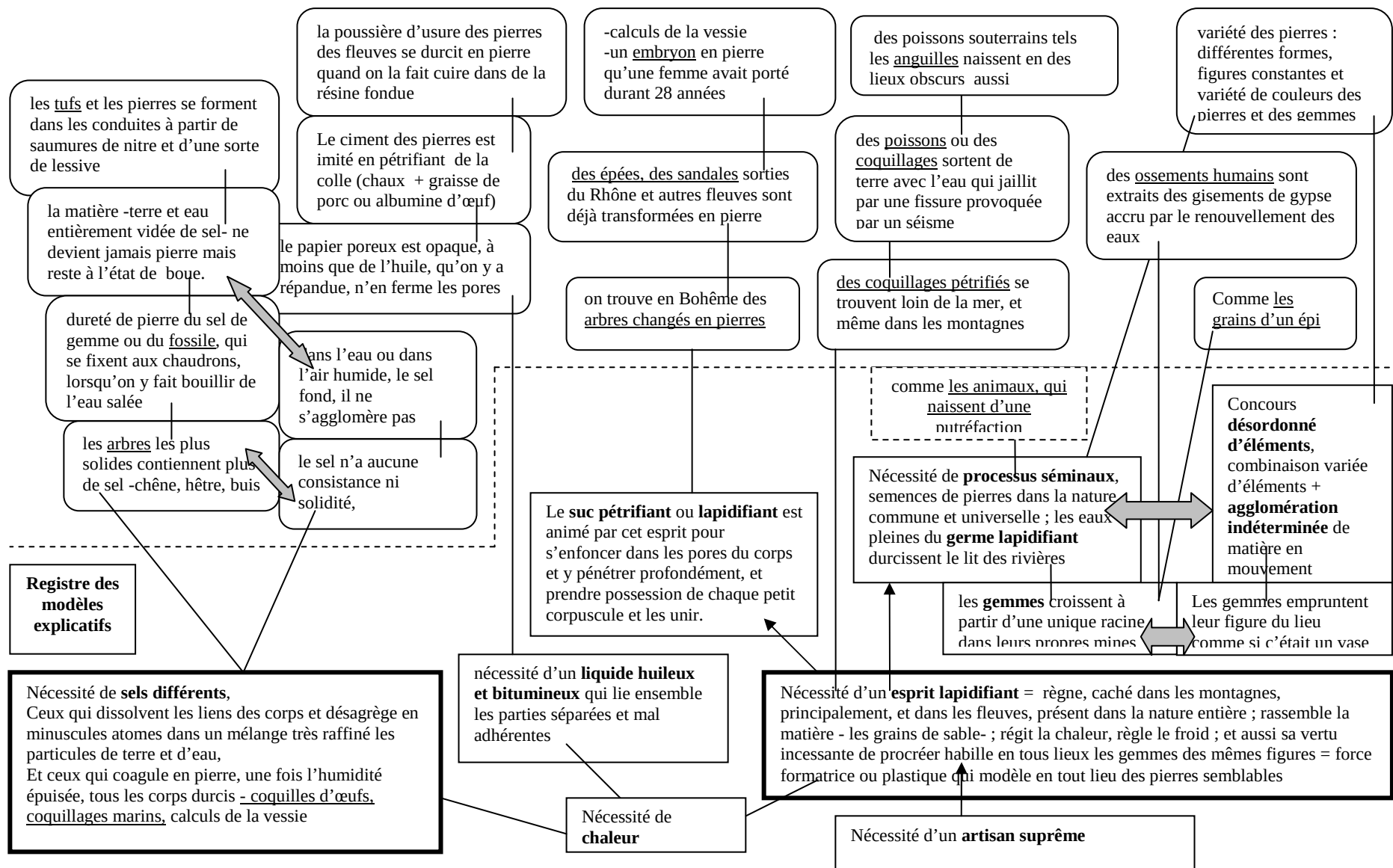
³²⁰ Calcaire à entroques (du grec en = dans et trokhos = disque) : roche entièrement formée de débris de tiges ou de bras de crinoïdes, reconnaissables à leur symétrie pentaradiée, d'où leur appartenance à l'embranchement des Échinodermes. Le canal central et la cassure brillante correspondent à un clivage cristallin de calcite.

ANNEXE 14
Annexe 14AA

ESPACE DE FORMULATIONS du discours de Théophile dans le dialogue galiléen sur la nature et la génération des pierres
Du Hamel (1660, livre 2, chap. 6, pp.184-192)



ESPACE DE FORMULATIONS du discours de Simplicius dans le dialogue galiléen sur la nature et la génération des pierres Du Hamel (1660, livre 2, chap. 6, pp.192-200)



Controverse historique au XVIII^e siècle sur l'origine des fossiles

ANNEXE 15

**LETTRE DE REMERCIEMENT DE JEAN-ÉTIENNE GUETTARD A
EMANUEL MENDES DA COSTA du 15 décembre 1749
manuscrit inédit**

Ms 2533, Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle de Paris. (feuille 68- 3 pages)

Du 15 décembre 1749

Monsieur,

Je ne sais ce que vous allés pensé de moy, après le long temps qui s'est écoulé depuis que j'ay reçu les fossiles que vous m'avés fait l'honneur de m'envoyer dans la quaisse que vous aviés adressée a M^r. de Buffon. Ce qui a été cause de mon retardement à vous faire mes remerciements sont les différentes petites occupations que je suis obligé de remplir auprès de M^r. le Duc d'Orléans, outre celui d'une petite pratique [feuille 68, p. 2] de médecine. Elles m'ont même empêché de profiter des occasions que M. *Hugueue*³²¹ le frère de Mr. Needham³²² m'avaient procurées, mais il m'a été impossible de les aller saluer même avant leur départ ce dont j'ai été très mortifié. L'envoy que vous m'avés fait M^r. contient beaucoup de choses curieuses, j'aurois été très flatté d'y trouver les pierres et les terres les plus communes de la Cornouaille des environs de Londres et des autres pais que vous avés parcouru. Elles auroient été pour moy un morceau très intéressant. J'ay lu un mémoire a L'académie des Sciences qui sera imprimé dans le volume de 1746 et qui paroitera cette année. Dans ce mémoire j'y ay fait un parallèle de l'angleterre et de la france *touchant* les minéraux. Je suis resté en doute sur plusieurs faits, que je pourois éclaircir par les fossiles les plus communs. J'espère que vous voudrés bien Monsieur me mettre en état de lever mes doutes et si jamais vous [feuille 69, p. 3] daignés lire mon mémoire lorsqu'il vous tombera dans les mains. Vous croirés que ceux qui ne peuvent se lever que par des recherches qui sont

³²¹ Sont écrits *en italique* les mots dont la transcription reste douteuse.

³²² l'abbé John Turberville Needham (1713-1781).

difficiles a remplir ne *ruineront* pas aussi votre *alterition*. Je souhaiterois que vous pensassies M^r. comme moy sur cette matière et que mes idées vous fussent agréables, ce seroit beaucoup pour moy et je gagnerois beaucoup si j'avois pu vous engager à compléter ou à réfuter ce que j'ay dit, ne recherchant que la vérité, ce que vous déciderés me seroit toujours agréable. Personne n'étant plus en état que vous M^r. de me donner des lumières sans aucuns nuages. C'est ce que j'espère de votre goût pour l'histoire naturelle. Je suis avec respect

Monsieur

vosre très humble
obéissant serviteur
Guettard

Si vous daigniés aussi me faire quelque envoy
Monsieur, j'oserois vous prier de l'adresser
a M^r. Le Duc d'Orléans et de ne mettre
que pour *réception* seulement ceux
A Monseigneur Monsieur Le Duc
D'Orléans à Paris

ANNEXE 16

**MINUTE AUTOGRAPHE DE LA REPONSE EN FRANÇAIS DE
EMANUEL MENDES DA COSTA A JEAN-ÉTIENNE GUETTARD-
Manuscrit inédit**

Ms 2533. Paris Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle (feuille 69- 4 pages)

Hearsread it the 25 july 1750

A Monsieur

Monsieur Guettard membre de l'Académie

Royale des Sciences sur la *Vielle* Estrapade à Paris

Monsieur

Londres ce 5^{me} février de 1749/50

J'ai reçu l'honneur du très estimé votre du 15 dec.& passé. Je me suis retenu quelque tems à répondre à cause que j'espérois pouvoir vous marquer mes sincères remerciements pour la recette de votre première envoye des Fossiles et de votre ouvrage des observations sur les Plantes³²³ que vous m'avez fait l'honneur de me présenter en 1748 et que je croyois perdu. Mais notre commun ami Mons^r Needham m'a depuis peu avizé que votre estimé envoye étoit encore à Calais. Je l'ay envoyé chercher & je me flatte à présent de les recevoir en peu de tems.

Je suis charmé Mons^r que ma petite envoye des fossiles Angloises vous étoit agréable j'espère Mons^r car j'essayerais toujours vous démontrer ma vive reconnoissance pour l'honneur de votre correspondance. Je vois avec un sincère plaisir ce que vous me marquez de votre mémoire d'un parallèle de la France et de l'Angleterre à l'égard de leur productions minérales. J'aurai [feuille 69, p. 2] pu à la vérité vous avoir aussi envoyé des échantillons de nos pierres terrestres les plus communes mais je craignois vous ennuyer et je ne pensois pas quelles vous auroient été si intéressantes comme vous me marquez par votre lettre. Mais j'espère que ce n'est pas trop tard car à la recette de la lettre j'ay commencé à emballer les diverses espèces que je possède avec mes remarques au large. Et j'ajouteray une quantité d'autre fossiles que j'espère vous seront aussi agréables et l'envoye se fera au plus tôt possible adressé à MonSeigneur le Duc d'Orléans selon que vous me marquez en l'intervalle Mons^r. (comme votre mémoire n'est pas encore imprimé) Faites moy l'honneur de dresser une liste de vos demandes à l'égard de l'histoire naturelle des fossiles angloises et je vous répondrai amplement autant que ma capacité me permet. Ajoutez aussi une liste des fossiles

³²³ Il peut s'agir soit du quatrième mémoire "Sur les glandes des plantes et usage que l'on peut faire de ces parties dans l'établissement du genre des Plantes" ou du mémoire "Sur la transpiration insensible des Plantes". Ce sont deux écrits de Guettard, parus tous deux en de 1748, et qu'il a pu présenter avant son impression lors de leur rencontre de la même année.

que vous souhaitez particulièrement avoir à ce sujet afin que je puis vous les envoyer car cela me fera un sensible plaisir pour pouvoir vous démontrer mon estime à votre égard et lorsque votre savant mémoire sera publié alors aussi je ferais amplement mes remarques là dessus lesquelles j'aurois l'honneur de vous communiquer et même de vous les dédier. Ce parallèle de l'histoire naturelle des fossiles des deux Royaumes s'éclaircira par ces communications réciproques car étant habitants des deux Royaumes nous pourrons mieux communiquer chacun sur son pais natal. Car autrement sans cette xxx les recherches exactes & savantes sur l'histoire naturelle [feuille 69, p. 3] sont très difficiles à éclaircir.

J'ai souvent remarqué avec plaisir la perfection de beauté des coquillages fossiles de la France. Ils sont si parfaits & ont souvent leur couleur naturelle qu'elles m'ont toujours fait admirer comme elles se pouvoient ainsi conserver et j'ay souvent souhaité d'avoir l'éclaircissement de leur Hist[&] naturelle à scavoir dans quelles strata ou substances elles se trouvent (je croy que c'est une espèce de chaux ou substantia calcarea) et à quelles profondeurs &c &c &c. J'en ai recu d'aupres de Mentr en Allemagne, souvent -de la Suabe et même de la Norvège, des coquillages aussi parfaitement conservés mais sans leurs couleurs naturelles. Et notre Angleterre n'en fournit point sinon que dans les puits ou (sic) l'on creuse la craie (in *fodinis* cretaceis³²⁴). Nous trouvons les Echini de différentes espèces, les Petonculis sulcati, les Conchoe Anomiae laeves, les Glossopetres & quelques autres corps marins très parfaits & élégants mais aussi sans leur couleur naturelle pour nos carrières sablonnières et argilières & pour la plupart des pierres dans les coquillages. Elles n'en fournissent aucune très bien conservées, moulées. A l'égard aussi des coquillages vous en trouvez beaucoup de ces espèces appelées Cylindri & Rhombi dans la France & nous en trouvons très rarement en Angleterre. & pour les Lapidés lenticulaires ou Opercula Cochlearum (comme je le pense être) nous ne les avons jamais trouvé en Angleterre – les Conchoe Anomiae sont notre fort nous en avons quantité de plusieurs espèces & par tout le Royaume. Mais jamais, ce qui est digne de remarque, avons-nous pu découvrir des *histerolithes* en Angleterre. Les *cornua ammoni* nous avons en abondance. Les Buccina Cochlea Petunculi Ostrea Cunei et Echini nous en trouvons plusieurs espèces. & dans le comté de Suffolk nous avons des falunières de même que celles de la Touraine décrites par Mons^r de Réaumur en 1720. & des végétaux comme les impressions de fougères, Roseaux,

³²⁴ Afin qu'il n'y ait pas d'ambiguïté sur le lieu fossilifère, Da Costa préfère assurer la traduction en complétant par l'équivalent latin : Fodina = mine ; cretaceus = de la nature de la craie.

Equisetums &c nous en trouvons beaucoup dans nos charbonnières et Mons^r [feuille 69, p. 4] de Jussieu a observé les mêmes dans les charbonnières de la France.

A l'égard des métaux l'Angleterre remporte la victoire sur la France nous avons en abondance le cuivre, le plomb & l'étain ; aussi avons-nous découvert depuis peu le bismuthum le Zincum et le cobaltum dans nos mines de Cornouaille. Mais aux savants qui se rejettent impitoyablement par les noms de marcasites. L'antimoine & le lapis calaminaris nous avons en abondance. L'argent nous manque entièrement car le peu d'argent qui se tire est véritablement hors des mines de Plomb de la principauté de Galles qui véritablement est une mine de zincum. Quoique nous abondons en fer je crois que la France nous égale en cette article.

this to go after the following

Pour les pierres à bâtir nous vous surpassons & nous avons de très beaux marbres en Angleterre. Et pour les pierres communes les Talcs les silices &c & les terres les deux Royaumes à peu près s'égalent. Mais pour les Fluores & Crystalli, les marcasites & Pyrites et aussi les sels nous vous surpassons.

This to go before the preceding

L'Alsace vous fournit des mines de Cinabre nous n'en avons point absolument * & nous n'avons point de l'or ni aucune rivière aurifère comme vous avez en France.

* Pardonnez Mons^r cette digression que j'ay fait qui peut être vous est ennuyeuse. Mon avidité pour les recherches de l'histoire naturelle m'a entraîné peut-être trop loin mais j'espère vous me l'excuserez & permettez moy de vous assuré que je suis avec un parfait dévouement

Mons^r Votre très humble
 & tres obéissant
 Serv^r

Je vous prie Mons^r – adressez vos lettres à l'avenir. mon nom & surnom au long au café de la Banque proche de la Banque à Londres et pardonnez Mons^r que je vous prie (a cause des grands frais des ports des lettres à notre poste) de ne jamais mettre une enveloppe sur vos lettres mais écrivez le tout sur une feuille de papier sans enveloppe ou papier détaché car ils payent de mettre que la lettre.

ANNEXE 17

**TRANSCRIPTION DE LA REPONSE MANUSCRITE
DE GUETTARD A VOLTAIRE AU SUJET DE LA FORMATION
DES PIERRES ET DES MONTAGNES (Deuxième partie)
Manuscrit inédit**

GUETTARD, J.-É. (postérieur à 1768). *Ms 2186 -Minéralogie 1, B. Notes diverses sur la minéralogie, son utilité, la façon de l'étudier- Réponse à Voltaire au sujet de la formation des pierres et des montagnes.* Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle. (Feuilles 51 -56)

Remarque : Les manuscrits, difficilement lisibles de Guettard comme le fait remarquer J. Roger qui a transcrit une lettre à Buffon (1962, p. cxxxix), nécessitent que certains mots de cette transcription soient mis en italique car nous doutons encore de leur déchiffrement. Ceux qui sont restés vraiment indéchiffrables, sont indiqués par le sigle xxx.

Pour illustration, la première page manuscrite du chapitre transcrit qui suit (feuille 51 verso)

formation de vos magnifiques
 de l'édifice
 De l'édifice
 quand M. de Voltaire par le
 pichet, il confond les pichetifications
 de vos magnifiques pichet, avec les
 pichetifications ordinaires. De l'édifice de l'édifice
 intérieur, les pichetifications, les pichetifications
 d'un même pichet, ou d'un même
 origine que les pichetifications communes.
 M. de Voltaire ne veut pas distinguer
 pichetifications entre les pichetifications
 celles qui sont réellement pichetifications
 pichetifications ou qui ne sont que de
 pichetifications pichetifications d'un intérieur de l'édifice
 de l'édifice. Les pichetifications ont fait dire que
 les pichetifications pichetifications d'un même pichet
 d'un même pichet, d'un même pichet.
 le pichet d'un pichet. Les pichetifications
 une pichetification, ou plutôt il faut dire
 que les pichetifications pichetifications pichetifications
 d'un intérieur d'un pichet d'un pichet
 qui sont de la pichetification d'un
 pichet, les pichetifications pichetifications
 pichetifications.
 Si M. de Voltaire par le pichet
 il fait un nombre de pichetifications.
 les pichetifications de l'édifice d'un pichet
 d'un pichet, d'un pichet d'un pichet
 pichet, pichetifications de l'édifice d'un pichet
 d'un pichet, d'un pichet d'un pichet.
 pichetifications de l'édifice d'un pichet
 d'un pichet, d'un pichet d'un pichet.

Des pierres

Rq : ce paragraphe manuscrit de Guettard est à mettre en corrélation avec les chapitres VII, VIII, IX et X des *Singularités de la nature* de Voltaire intitulés respectivement " De la pierre", "Du caillou", "De la roche" et "Des montagnes, de leur nécessité, et des causes finales " dont Guettard a gardé l'ordre.

[feuille 51 verso - suite] Quand M. de Voltaire parle **des pierres**, il confond les pétrifications des corps marins fossiles, avec les pierres ordinaires. Les pierres lenticulaires, les glossopètres, les oursins, les cornes d'Ammon se *seroient* ont une même origine que les pierres communes. M. de Voltaire ne distingue pas encore entre ces pétrifications celles qui sont réellement les corps pétrifiés ou qui ne sont que des noyaux formés dans l'intérieur de ces corps³²⁵. C'est ce qui luy fait dire que les naturalistes ont avancé que les cornes d'Ammon étoient d'ancien logement d'un poisson³²⁶. Ce qui est une absurdité, ou plutôt ils ont dit que les cornes d'Ammon s'étoient formée (sic) dans l'intérieur d'un corps marin qui avoit été le logement d'un animal, ce qui est toute autre chose³²⁷.

Si M. de Voltaire parle **du caillou** il fait un nombre de pourquoi. Pourquoi des campagnes en sont garnies, d'autres n'en engrange point, pourquoi les uns sont gros et grands, les autres étant petits, pourquoi &c. M. de Voltaire est comme un enfant qui ne *sait* [feuille 52 recto] rien, il ne cesse de faire des pourquoi. Si il voyoit M. de Voltaire il demanderoit pourquoi il est plus grand que luy pourquoi il est si décharné, pourquoi il n'a plus que la peau et les os pourquoi &c. Si M. de Voltaire continue de faire tant de question eut daigné lire les naturalistes il auroit eut la solution de plusieurs de ces questions. Et en vérité, ou les questions sont insolubles ou elles sont de nature à ne pas exiger de réponse tout le monde pouvant aisément y répondre.

M. de Voltaire démontre surtout qu'il n'est guère exact lorsqu'il fait des expériences. Il nous dit à l'occasion **des roches** des Alpes et des Pyrénées qu'il a réduit un morceau de roche en sable avec du vinaigre chaud. C'étoit apparemment une pierre calcaire mais cette pierre compose-t-elle les montagnes des Alpes et des Pyrénées, comme *suit* M. de Voltaire. Bien sur que non. Les plus hautes montagnes des Alpes et des Pyrénées le sont de pierres bien différentes et sur lesquelles le vinaigre

³²⁵ Moulage interne fossilisé par remplissage de la coquille de l'animal.

³²⁶ Nom générique vernaculaire ou scientifique des organismes aquatiques au XVIII^e siècle qui inclut les mollusques bivalves et céphalopodes avec les poissons. Ce terme désigne improprement encore des « animaux couverts de coquilles » (Dezallier, 1757, p. XX).

³²⁷ Guettard insiste sur la différence parmi les fossiles entre les corps pétrifiés par épigenèse et les moulages internes ou externes, mode de fossilisation le plus fréquent pour les ammonites. La coquille initiale a complètement disparu. Le moulage interne est caractérisé par les lignes de sutures des loges, le moulage externe est caractérisé par les différentes ornementsations possibles de l'ancienne coquille (côtes, crénelures, tubercules, etc).

chaud ne fait rien. Ainsi si Annibal³²⁸ a passe les Alpes dans un endroit [feuille 52 verso] où les roches soient de ces dernières pierres tout le vinaigre du monde n'auroit rien fait sur ces pierres ou il n'aurait agi que comme auroit agi leur XXX sur des pierres attaquées par le feu. César³²⁹ auroit été bien maladroit de prendre du vinaigre au lieu d'eau. Mais il n'a pas plus employé du vinaigre que de l'eau. Le courage et l'intrépidité de César et de ses soldats sont la seule cause de ce passage. Si ils se sont servi de vinaigre dans cette occasion, ils ne s'en servoient que pour se rafraîchir.

M. de Voltaire dit de bonnes choses sur **les causes finales des montagnes** mais il commence par quelques traits inexacts, ou d'indices très obscurs. On ne sait ce que M. de Voltaire entend par ses montagnes isolées. Il semble qu'il ne prend pour ces montagnes toutes celles qui sont indépendantes de la grande chaîne des montagnes. Mais celles qui sont hors de cette chaîne ne sont pas plus isolées que les premières. La plus part ne sont pas des volcans. Ce qu'il prétend cependant. Les volcans sont au contraire très rares en comparaison de celles qui n'ont pas brûlé. Leurs sommets [feuille 53 recto] sont en pointes quoique M. de Voltaire dise le contraire et leurs flancs contiennent des souffres allumés et non pas qui s'allument dans ces flancs, comme le dit M. de Voltaire.

³²⁸ Annibal (-247 à -183 av. JC.), général et homme politique carthaginois réputé comme étant un des plus grands tacticiens militaires de l'histoire, nommé « père de la stratégie » qui aurait inspiré Napoléon 1^{er}. Il partit à la conquête de Rome en passant par les Pyrénées puis les Alpes. Cette traversée des Alpes par Annibal et ses éléphants est réputée pour avoir été un des choix tactiques les plus remarquables, grandi encore par leur stratège qui a réussi à vaincre de nombreux obstacles - climat rude, terrain escarpé, ethnies cosmopolites de ses soldats-.

³²⁹ Guettard associe un autre grand tacticien militaire, Jules César (-101 à -44 av. JC.), général romain encore plus renommé qui lui aussi franchit les Alpes lors de ses conquêtes territoriales. Souverain absolu d'un empire méditerranéen, il se rendit célèbre par ses campagnes militaires archivées dans ses mémoires *Commentaires de la guerre des Gaules*, son ambition et sa générosité vis-à-vis du peuple.

Pour illustration la première page manuscrite du chapitre transcrit qui suit (feuille 53 recto)

23
 Venos bonnely join en priantz yvonne
 Mrs De voltaire aye leantille inde
 estuy flamy connoissent de poutre
 all may et ne pay yvonne
 d'uy flamy, comme veis me
 de voltaire.

La formation de
rondinuzzi

[illegible]

La formation des montagnes

Rq : ce paragraphe manuscrit de Guettard est à mettre en corrélation avec les chapitres XI, XII et I des *Singularités de la nature* de Voltaire intitulés respectivement " De la formation des montagnes", "Des coquilles est des systèmes bâtis sur des coquilles" et "Des pierres figurées" dont Guettard n'a pas gardé l'ordre.

Dans le nombre des systèmes qu'on a imaginés pour expliquer **la formation des montagnes** il y en a deux principaux. Suivant l'un ce sont les volcans qui ont élevé les montagnes. Selon l'autre elles sont *riches* des atterrissements ou des dépôts faits par la mer. M. de Voltaire rejette l'un et l'autre et veut qu'elles aient été créées telles qu'elles sont.

Si on objecte à M. de Voltaire **les amas de coquilles et autres corps marins** qu'on observe dans quantité d'endroits de la surface de la terre, il veut que ces coquilles soient des coquilles laissées par des pèlerins, ou que ce soit le reste des haltes de soldats, ou que ce soit des abandons que nos mers aient faits ou bien il prétend qu'elles se forment dans la terre. M. de Voltaire *sente* toute la force de XXX. [feuille 53 verso] Il l'étudie autant qu'il peut mais il est comme ces soldats qui décochent en fuyant leurs flèches qui ne font aucun mal étant mal limées. Un des grands arguments de M. de Voltaire est que si la mer eut donné naissance aux montagnes, on devrait (sic) trouver des coquilles partout sur les hauts des Pyrénées et des Alpes et l'on n'y en trouve pas. Cet argument n'est pas insurmontable, quand on ne trouveroit pas des coquilles sur les plus hautes montagnes, qu'on n'en trouveroit même nulle part, il ne s'en suivroit (sic) pas encore que les montagnes ne puissent avoir été formées par la mer. Les coquilles auroient pu être détruites par les flots de la mer ou par le temps. Il est même plus étonnant que l'on voie de nos jours des coquilles de mer à qui il ne manque que les couleurs qu'elles avoient naturellement pour être entièrement semblables à celles qu'on pioche actuellement dans la mer. La façon de raisonner des Naturalistes est ce qu'il me semble plus naturelle et plus juste, que celle de M. de Voltaire. Ils contenaient de ce qu'on trouve des [feuille 54 recto] coquilles ou d'autres corps marins dans le sein des montagnes, que ces montagnes au moins, ont été élevées par des dépôts successifs de la mer. Cette conclusion est plus juste que d'en conclure que ces corps fossiles sont dus à des pèlerins, ou des restes de haltes de soldats ou qu'ils se sont formés dans la terre. De pareilles idées mériteroient plutôt d'être méprisées, que d'être réfutées, si elles n'étoient pas de M. de Voltaire. Si M. de Voltaire se fut restreint à dire que les hautes montagnes paroissent avoir une autre origine que celles des montagnes qui sont d'un ordre inférieur, peut-être auroit-il dit une vérité. Et si il eut avancé que ces hautes montagnes ont été élevées par des volcans, si il n'eut pas mis en avant une vérité, son opinion auroit du moins été de nature à être approfondie. Mais prétendre renverser des opinions qui ont au moins la vraisemblance pour eux par des raisonnements qu'on prendroit (sic) plutôt pour des badineries, que pour des raisons sérieuses c'est mépriser les problèmes

et *démentir* des savants. [feuille 55 recto] Les plus grands hommes sont comme les ignorants exposés à se tromper même sur les termes lors qu'ils parlent d'une science qu'ils n'ont pas étudiée avec soin et qu'ils n'ont fait qu'effleurer.

M. de Voltaire a commis cette faute en parlant **des pierres figurées**. Il appelle dendrites celles de ces pierres qui représentent des pierres cela est juste, il donne le nom de pierres arborisée à celles qui ne figurent que de petites plantes, cela n'est pas exact. Dendrites et arborisées signifie la même chose. Le premier de ces noms est grec, et signifie la même chose que le mot français. Pourquoi donner le nom d'arbre à une représentation d'une petite plante. Cela n'est encore rien, M. de Voltaire appelle dendrites des empreintes de plantes que les Naturalistes nomment phytobiblion³³⁰. M. de Voltaire ignore donc ou veut ignorer que les empreintes [feuille 55 verso] de plantes ont une autre origine que les dendrites et les pierres herborisées. Celles ci sont dues à un dépost de parties ferrugineuses les autres à de vraies plantes. Si M. de Voltaire a vu des pierres figurées une pierre sur laquelle on discernait un arbre chargé de fruits et une face d'homme et qu'il en a conclut qu'un arbre et la face d'un homme n'ont point été empreinte sur ces pierres, il auroit conclut tout autrement si il eut bien examiné les phytobiblion. Il auroit aisément distingué que ces empreintes sont aussi bien celles de plantes que si nous imprimions nous mêmes des plantes dans une terre molle. Ces Empreintes sont aussi bien les masques de ces plantes que l'est celui d'un homme qu'un sculpteur prend sur le visage d'un homme vivant ou d'un homme mort. M. de Voltaire n'aime pas dire que les plantes dont on trouve l'empreinte dans des pierres [feuille 56 recto] ont été déposées par la mer. L'erreur où il est luy a confondu ses idées. Il appelle dendrites, ce qui n'en n'est pas. Il voit sur des agathes de Bohême, ce qu'on y a jamais vu, il voit sur les pierres de Montmartre, du sommet des Alpes et des Pyrénées, ce qu'on n'y a jamais observé. Enfin M. de Voltaire, commet presque autant de fautes, qui (l) fait de phrases.

³³⁰ Les phytobibliions ne sont pas dans l'index des dictionnaires du XVIII^e siècle comme celui de Valmont de Bomare (1768-1769). Nous avons trouvé une référence apportée par l'abbé de Sauvages, (1747/ed.1752). Suite du mémoire contenant des observations lithologiques, pour servir à l'Histoire Naturelle du Languedoc, & à la théorie de la Terre. *Mémoires de l'Académie Royale des sciences de Paris*, 699-743.

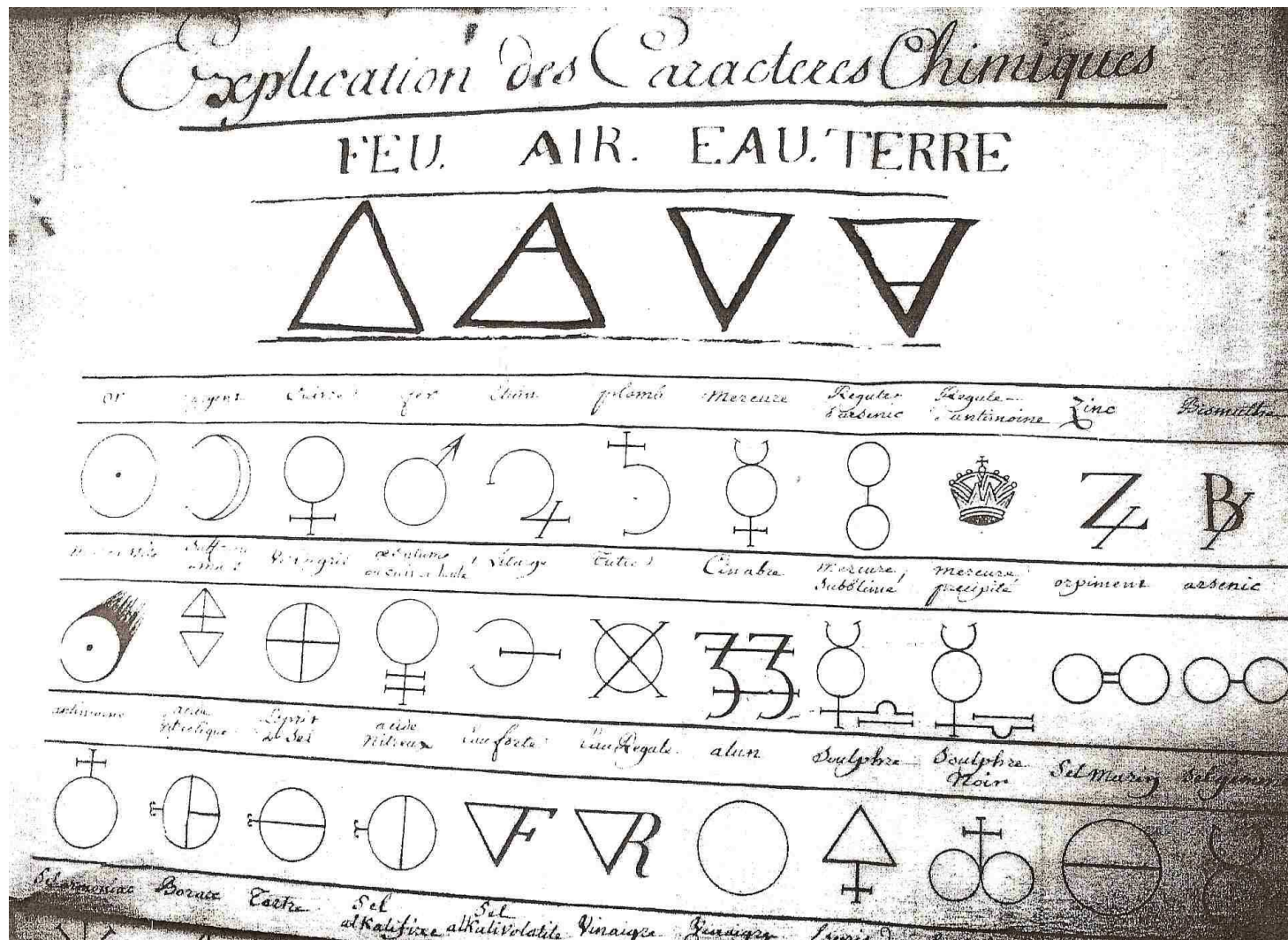
La préoccupation principale de Sauvages était de comprendre et de trouver des indices de « dérangements des montagnes ». Ainsi rencontra-t-il diverses roches dont celles comprenant des empreintes fossilifères de végétaux dans les mines de charbon ou schistes houillers des « chaînes de montagnes » provençales étudiées –les plateaux des Causses et du Lubéron, les Alpilles et les Cévennes-. Le terme de phytobiblion semble être un terme générique des plantes pierreuses ou plantes pétrifiées (p. 704). La figure 8 correspondante, intégrée dans son mémoire, est une empreinte de feuillage de calamites, appelé *Annularia stellata*. Ces fossiles végétaux appartiennent au même groupe que les prêles actuelles (*Equisétinés*) qui se caractérisent par des tiges formées d'« articles cannelés » séparés par des nœuds sur lesquels s'insèrent des verticilles de feuilles. Ces derniers fossilisés donnent un aspect étoilé aux empreintes.

TABLE DES CARACTÈRES CHIMIQUES

Inédit

ANNEXE 18

Cours de chimie – Ms 27, École des mines



Quintessence	fourmeuse	Bain	Bain marin	Bain de vapeur	Bain de fleur	Bain de pluie	Bain de soleil	Bain de lune	Bain de vent	Bain de feu	Bain de terre
QE		B	MB	VB			XX		X	SH	
Stratium - Superstratum -	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence
sss		E	C								
purifier	dissolution	sublimation	purification	sublimation	sublimation	sublimation	sublimation	sublimation	sublimation	sublimation	sublimation
Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence	Essence
U											
Jour	Nuit	Mois									

Cette table des corps chimiques a été offerte par C. Lehmann. Celle-ci ne l'a trouvée qu'après son travail de rédaction de thèse (Lecornu-Lehman, 2006). Cette belle table nous permet de corréler les symboles chimiques du XVIII^e avec la légende des caractères minéralogiques décidés par Guettard (Annexe 19).

TABLE DES CARACTÈRES DE LÉGENDE DES CARTES MINÉRALOGIQUES DE J.-É. GUETTARD
Manuscrit inédit

ANNEXE 19

Guettard, J.-É. (n.d.). Système des caractères minéralogiques associés aux cartes. In *Ms 3307, archives du Muséum d'histoire naturelle de Paris*, folio 88.

Page 1 de la lettre A à L (folio 88 recto)

[illegible]

[illegible]

B	 banc d'arg.	C	 Caillou figure
	 banc vert.		 oue Caillou roulé transparent
	 Meuse mineral		 Caillou transparent
	 Bélemnites.		 caillou opaque
	 Bélemnites dans la pierre à chaux		 oue Caillou roulé opaque
	 Blende		 Corne ou ore de Flomb.
	 Bois pétrifié		 Linatre
	 Bélemnites.		 Coque fossile
	 Bois fossile.		 Crystalle ou ore de cuivre.
			 ou Coquilles fossiles
			 Corps marin roulé
			 Cristal
			 Coquille fossile.
			 Craie
			 Car.
			 Corne de cerf fossile
			 Corballe
			 Quirre
			 Coquilles turbinées dans la pierre à chaux
			 Corps marins dans les mines de fer
			 Coquilles bivalves dans la pierre à chaux
			 Corne d'Ammon.
			 Cornes d'Ammon dans la pierre à chaux
			 Corps marins
			 Composée.
			 Vitr.

Agrandissement du folio 88 recto : les différents symboles de la liste de la lettre C

Nous pouvons repérer dans le système de symboles ponctuels utilisés par Guettard, les symboles utilisés pour les roches fossilifères ou les corps fossiles :

B : Bélemnites, Bois pétrifié, Bois fossile
(folio 88 verso)

C : corps marins roulés, Coquille fossile, Corne de cerf fossile, Coquilles turbinées dans la pierre à chaux, Corps marins enrobés de mines de fer, Coquilles bivalves dans la pierre à chaux, Corne d'Ammon, Corne d'Ammon dans la pierre à chaux, Corps marins
(folio 88 recto)

G : Grès coquillier
(folio 88 recto)

P : poissons fossiles
(folio 88 verso)

Ce système se surajoute au système en plan des trois bandes « schisteuse, marneuse et sablonneuse » pour cartographier les régions visitées.

ANNEXE 20

**TRANSCRIPTION DE LA RÉPONSE MANUSCRITE
DE GUETTARD A VOLTAIRE
AU SUJET DE LA FORMATION DU CORAIL ET DES POLYPES.
Troisième partie –Manuscrit inédit**

GUETTARD, J.-É. (postérieur à 1768). *Ms 2186 -Minéralogie 1, B. Notes diverses sur la minéralogie, son utilité, la façon de l'étudier- Réponse à Voltaire au sujet de la formation du corail et des polypes.* Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle. (Feuilles 56-58)

Remarque : Les manuscrits, difficilement lisibles de Guettard -comme le fait remarquer J. Roger qui a transcrit une lettre à Buffon (1962, p. cxxxix)-, nécessitent que certains mots de cette transcription soient mis en italique car nous doutons encore de leur déchiffrement. Ceux qui sont restés vraiment indéchiffrables, sont indiqués par le sigle xxx.

Pour illustration, la première page manuscrite du chapitre transcrit qui suit (feuille 56 verso)

56

on ne dépose pas la mer. Ne vers
on il est ~~un~~ le confondre ~~par~~ ~~des~~
ils appelle d'indivis, ce qui n'en
n'est pas. il voit par de l'agilité
de la forme, ce qui n'est pas
une, il voit par le pithy des de
mors morte des femmes de l'ag
et de l'agilité, ce qui n'est pas
journé observé. Enfin on ne
voit pas, comme par l'agilité
de l'agilité, qui fait de l'agilité.

sur le voir.

M. De Voltaire demande si on ne
bien pas par que le voir n'est
une production d'indivis. on ne
de voir pas on ne bien pas, et si
quelque nature, ce qui
n'est pas par on ne voir pas
n'est pas de voir. on voit bien
que voir n'est pas observé le
voir. voir appelle par de voir
ce qui n'est pas de voir
par le voir de voir. voir
le voir de voir ne pas par
voir par. il n'est pas par
le voir n'est pas par le voir
voir et voir n'est pas par
voir et on ne distingue par
voir et voir n'est pas par

Sur le corail

Rq : ce paragraphe manuscrit de Guettard est à mettre en corrélation avec le chapitre II intitulé " Du corail" dans les *Singularités de la nature* de Voltaire

M. de Voltaire demande si on est bien sûr que le corail soit une production d'insectes³³¹. Oui M. de Voltaire on en est bien sûr, et si quelques naturalistes³³², c'est qu'ils n'ont pas plus vu que vous les animaux du corail. On voit bien que vous n'avez jamais observé le corail. Vous appelés pores du corail ce qui n'est pas à proprement parler les pores du corail. Les trous du corail ne sont pas les vrais pores. Ils n'existent que dans la partie membraneuse qui le recouvre et lors que cette partie est enlevée on ne distingue plus ces trous et vos prétendus pores. [feuille 56 verso] Il est plaisant que vous compariés les trous de corail ou vos pores aux creux des arbres et aux crevasses des murailles. Vous prenés donc ces creux et ces crevasses pour des pores. Cela est une nouveauté pour le dictionnaire des synonymes de l'abbé Richard. Vous scavés enrichir notre langue même pour la valeur des termes. L'autorité d'un grand homme comme vous fera autorité dans la postérité. Vous n'êtes pas plus fondé dans tout ce que vous dites sur le corail que ne le seroit celui qui après avoir vu un vieux fromage de Sassenage³³³ rempli de mites, qui en concluroit que les mites forment ce fromage. Il resonneroit aussi bien que celui qui verroit des troupeaux paître un prés et qui en concluroit que ces troupeaux donnent naissance à ce prés. Vous badinés M. De Voltaire mais vous badinés mal dans cet endroit. Ce savant³³⁴ qui a dit *point* que les coraux étoient composés de petits vers marins par de petits vers n'a pas pretendu que le Lapies [feuille 57 recto] étoit fait d'ossements de morts, mais il a prouvé que les Turquoises d'Auvergne étoient des animaux qui devenoient turquoises en terre et que ceux qui ne l'étoient pas devenus ou qui ne l'étoient qu'à moitié et ayant subi une force assés considérable prenoient la couleur de la Turquoise. Quand on veut badiner les découvertes des hommes savants, il faut être savant soy même M. de Voltaire au moins dans le genre dont on parle. Vous estes furieusement savant des sens M. de Voltaire par ce qu'il y a de très habiles naturalistes qui pensent encore que les coraux sont des plantes. Vous pensés plus vers leur sentiment, que vous xxx les coraux sont formés par des Polypes. Mais M! les sens sont bien trompeurs, vous l'avez dit sans doute bien des fois, mais ici vous donnés tout aux sens, ou bien vous badinés, mais vous saviés que les railleries ne sont pas des convictions. C'est un de vos axiomes.

³³¹ Le terme d'insectes au XVIII^e siècle est un terme générique pour désigner des animaux de petite taille.

³³² « quelques naturalistes en doutent » est certainement sous entendu dans le sens de cette phrase.

³³³ Guettard fait référence aux expériences du physicien français académicien et collègue de Réaumur, l'abbé Jean Antoine Nollet (1700-1770). Ce dernier reprit l'expérience célèbre sur la génération spontanée des insectes du naturaliste irlandais Needham que Voltaire critiqua à plusieurs reprises. Voltaire y fit allusion dans une de ses lettres adressée à D'Alembert (1704-1778/1977-1993, Tome 9, p. 599, lettre 10888 du 2 sept. 1768) et dans son *Dictionnaire philosophique portatif* (1766). Il associe « le ridicule système du jésuite » au système de Buffon sur la Terre dans lequel l'océan Indien aurait formé les montagnes françaises en disant que « De telles imaginations peuvent être mises avec les anguilles formées par la farine ». Ainsi, Guettard lui rétorque la critique.

³³⁴ Réaumur (1715/1718), Observations sur les Mines de Turquoises du Royaume.

Pour illustration, la première page manuscrite du chapitre transcrit qui suit (feuille 57 verso)

[illegible]

[feuille 57 verso]

sur les polypes

Rq : ce paragraphe manuscrit de Guettard est à mettre en corrélation avec le chapitre III intitulé "Des polypes" dans les *Singularités de la nature* de Voltaire

En parlant des Polypes M. de Voltaire demande si il est bien avéré que les lentilles d'eau qu'on a nommés polypes d'eau douce soient de vrais animaux ? Il est bien avéré qu'ils n'en sont pas. Pas plus que les mites sont du fromage, pas plus que les chenilles qui vivent sur des plantes et des arbres, sont des plantes et des arbres. M. de Voltaire qui dit *a cet article* qu'il se défie beaucoup de ses yeux et de ses lumières auroit bien dut avoir cette défiance. Dans bien des occasions, il n'auroit pas tant débité d'absurdités et de faussetés. Ses ouvrages en fourmillent comme le vieux fromage fourmille de mites³³⁵. M. de Voltaire a bien raison de se défier de la bonté de ses yeux puis qu'il prend des polypes pour de petits joncs³³⁶. Il ne connoit ainsi ny polipe ny jonc. M. de Voltaire a réellement été dans presque tout ce qu'il a vu un vray Don Quichotte³³⁷ qui voyoit toujours le contraire de ce que les hommes sensés voyoient. [feuille 58] Tous les bons observateurs reconnoissent les polypes pour des animaux et M. de Voltaire les prend pour des petits joncs et ces joncs sont ces lentilles d'eau. Et puis il se perd dans des comparaisons qui vont au *sis* et, si l'on veut comparer la dissolution d'une pierre, au mouvement d'un polype, c'est comme si on comparoit celles de la chaux au mouvement de M. de Voltaire lors qu'il marche. Comparer même le mouvement de l'héliotrope et celui de la mimose³³⁸ ou fensive à celui du polype, c'est comparer un homme qui marche à un qui *remue* les bras. M. de Voltaire paroist avoir oublié qu'il faut pour qu'une comparaison soit exacte qu'il faut que toutes les circonstances soient semblables. Et qu'en cela souvent pour ne pas dire toujours les comparaisons clochent. M. de Voltaire revient cependant un peu sur luy même. Il ne sait pas trop à la fin si les polypes ne sont pas des animaux. Il ne sait si ils ont la sensibilité et la perception qui sont fuivant luy la distinction qui est entre le règne animal et le règne végétal. Qui a dit à Mr. de [feuille 58 verso] Voltaire qu'ils n'ont pas ses qualités, luy qui ne voit pas la différence qu'il y a entre un polype et la lentille d'eau et un jonc *sait* que les polypes ne sont pas sensible et ne perçoivent pas, il faut avouer

³³⁵ Nouvelle allusion à l'abbé Nollet.

³³⁶ Voltaire associe les polypes, appartenant au règne animal, à d'autres êtres vivants du règne végétal selon différents critères, les observations de leurs mouvements lents, un jeûne possible, des « graines » et leur capacité à se reproduire par voie asexuée comme le « bouturage ».

³³⁷ Guettard a barré Sancho pacha et la référence aux moulins à vent. Le livre « Don Quichotte de la Manche » écrit par Miguel de Cervantes (vol. 1, 1605 ; Vol. 2, 1615). Ce roman raconte les voyages et les nombreuses aventures à travers l'Espagne d'un personnage de naissance noble, Don quichotte, accompagné de son écuyer, Sancho Panza. Obsédé par les livres de chevalerie, ce héros décida de devenir un chevalier errant et de parcourir l'Espagne médiévale sur sa jument Rossinante en combattant le mal et protégeant les opprimés. Il est considéré comme fou, car il prend les auberges ordinaires pour des châteaux enchantés, les filles de paysans pour de belles princesses et il combat vainement contre des moulins à vent qu'il confond avec des géants envoyés par de méchants magiciens.

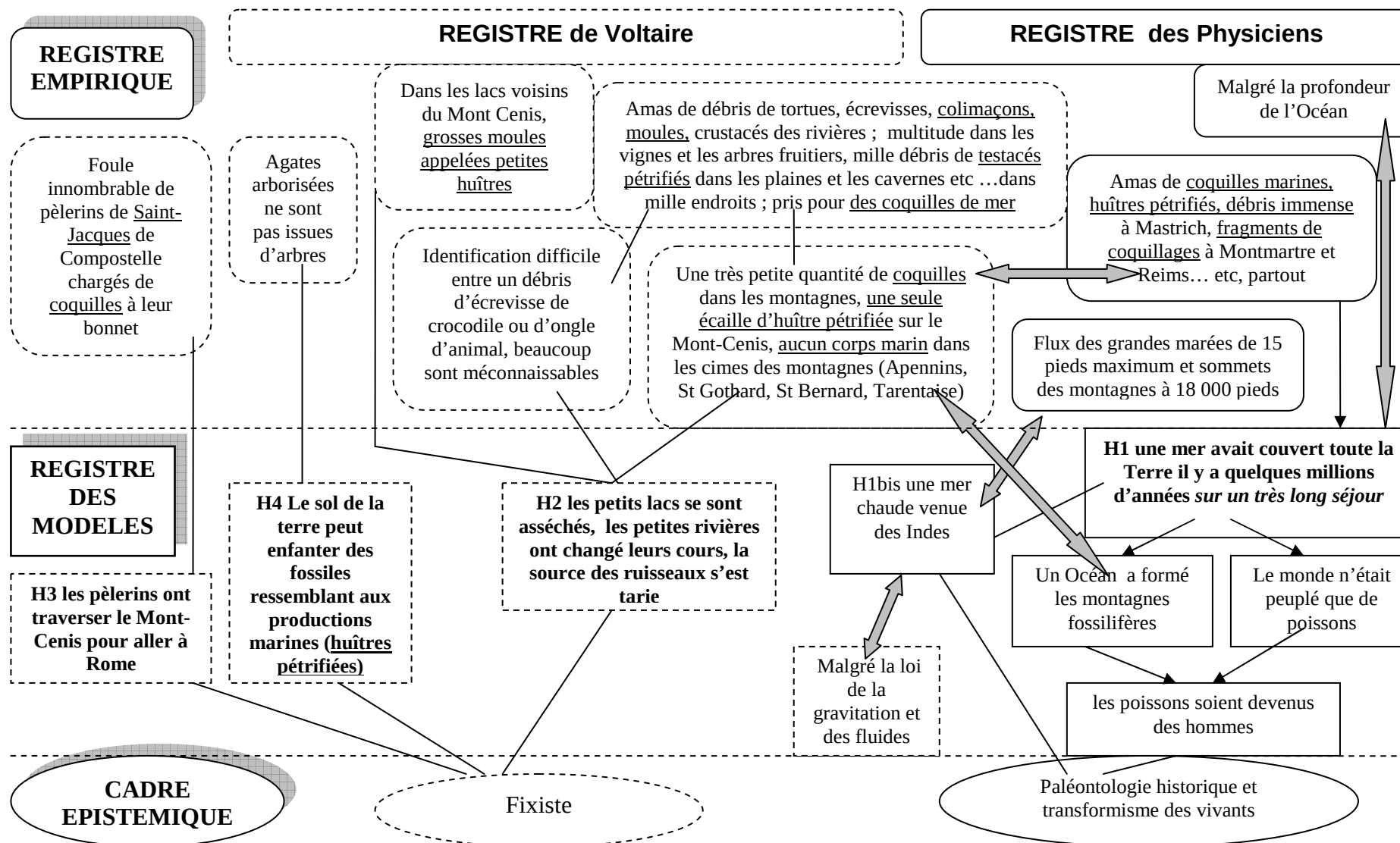
³³⁸ Voltaire se réfère effectivement aux mouvements lents de l'héliotrope ou fleur du soleil et de la mimose des Indes.

que M. de Voltaire a l'imagination plus vive qu'il n'a de bons yeux. Qui luy a dit de plus qu'il fallait qu'un animal eut de la perception comme l'homme pour qu'il put être mis au nombre des Animaux³³⁹, Mr de Voltaire de même que *sa cote* a sans doute un génie qui l'éclaire sur tous ces points qui ont fait le tourment des plus grands philosophes et des plus profonds métaphysiciens.

³³⁹ Effectivement Voltaire développe une vision anthropomorphique pour suggérer d'assimiler l'animalité à l'humanité (sentiment, désirs, volontés, idées).

ANNEXE 21

ESPACE DE FORMULATIONS SUR LES COQUILLES FOSSILES ET LA FORMATION DE LA TERRE
« Quand Voltaire interpelle les Naturalistes sur les amas de coquilles et les systèmes bâtis »



ANNEXE 22
**UN FOSSILE DE CRINOÏDES, ENCORE ÉNIGMATIQUE EN
PROVINCE, À BESANÇON, EN 1763 – par M. GOY
Manuscrit inédit**

GOY. (1763) Ms academie 7, Mémoire de M. Goy concernant quelques pétrifications trouvées sur le territoire de Besançon, lû à la séance du 26 janvier 1763, *Académie des Sciences, Belles lettres & Arts de Besançon*. 4-5

Messieurs

Je sçais que tous les pays ont leurs curiosités, ou du moins se vantent d'en avoir : mais la franche-comté est un de ceux qui en renferment le plus grand nombre et de différentes espèces ; soit en minéraux, végétaux ou animaux : quantité de morceaux dans l'un et l'autre genre, que j'ai recueillis à mes momens de loisir, me promenant autour de Besançon, me le font croire ; le morceau que j'ai l'honneur de vous présenter, que j'ai trouvé au mont de Bregille, en est un de ceux-là, et est à mon avis un des plus curieux qui soient dans la nature, n'en ayant jamais vû de semblable dans aucun cabinet de curiosités naturelles, non plus que dans aucun livre qui traite de ces matières et les circonstances qui l'accompagnent que j'ai à observer, doivent donner aux naturalistes occasion de réflexion.

La base ou la racine de la pétrification est de couleur cendrée, et ressemble à une corne compacte couverte de différentes couches ; la première est une croute plus ou moins épaisse, raboteuse, pierreuse, où l'on voit un gravier joint à une terre limoneuse, laquelle enveloppe la racine et la tige ; la couche qui succède est lisse à l'extérieur ; brillante dans l'intérieur, ayant la couleur d'une corne de même que tout son intérieur jusqu'à la hauteur environ de 4 à 5 pouces³⁴⁰ où commence à paroître une tige d'environ 12 à 15 pouces et même davantage de différentes grosseurs, cette tige est recouverte comme je l'ai dit, de cette première couche pierreuse et graveleuse, et de cette seconde couche qu'on a observé à la racine, après quoy il en paroît une troisième de couleur violette environ d'une ligne et demie d'épaisseur, qui enveloppe comme les autres la tige qui est également violette de bas en haut diminuant de sa grosseur et finissant en cone tronqué, il y en a depuis un pouce jusqu'à un pouce et demy de diamètre, il semble qu'elles soient formées de différentes couches extérieurement minces, appliquées transversalement les unes sur les autres, et qui forment à l'extérieur des rainûres circulaires fort régulières plus ou moins grandes. La même racine produit quelque fois dix à douze tiges ; [folio 5] mais qui n'ont pas les enveloppes que nous avons observées dans celles qui n'en ont qu'une, qui sont les plus communes, l'intérieur est brillant et cassé transversalement, on remarque au milieu un point quelque fois troué d'où partent des lignes droites à égale distance les unes des autres, qui viennent se terminer à la surface extérieure. Désirant d'en avoir une entier pour l'examiner plus particulièrement, j'ai fait casser différents endroits du rocher où il s'y en trouve quantité ; mais leur trop grande fragilité jointe à l'adhérence intime qu'elles ont avec les bans de pierre au milieu desquels

³⁴⁰ Pouce : ancienne mesure de longueur, douzième partie du pied subdivisée en huit lignes, soit 2, 54 cm environ

elles se trouvent m'en ont empêché. Ce que je viens de rapporter m'a fait croire que c'étoit un végétal pénétré par l'eau qui charie avec elle des sels, des sables, de l'argile, des sucs huileux et du limon, qui aidés du secours de l'air, s'étoient insinués dans les pores et les interstices de la plante, et y avoient déposé ce qu'elle contient de minéral qui s'étoit durci en se desséchant et que les parties les plus grossières qui n'ont pas pu pénétrer, ont formé la première couche que nous avons observée.

Cependant dans le nombre de celle que j'ai vû, j'ai remarqué qu'elles étoient toutes couchées horizontalement et que leurs racines étoient tournées du coté du couchant, et l'extrémité supérieure du coté opposé, étant le propre de la végétation d'aller de bas en haut ; je ne sais si j'ai eu raison. Quant à sa couleur violette, je crois qu'elle est naturelle ; car si elle provenait des exhalaisons minérales sulfureuses unies à l'eau, la racine en seroit pénétrée comme la tige.

Ce sont, je pense, les mêmes particules salines et argileuses, qui occasionnent les bois fossiles, tel qu'est le morceau que j'ai aussy l'honneur de vous présenter et que j'ai trouvé sur la même montagne dont tous les fibres et trachées ont été exactement conservés et qui pèse douze fois davantage qu'un morceau de bois de même espèce et de même grosseur. Je ne sais si l'on doit appeler celle-cy pétrification, attendu que tous les interstices sont remplis d'une matière cristalline et brillante, je crois que le terme cristallisation lui convient mieux, quoique celle-ci ne différant des autres que du plus ou du moins de limon qui est uni aux sables.

Commentaire

Goy semblerait considérer ce fossile comme une plante car sa description minutieuse rend compte uniquement d'une racine et d'une longue tige finissant en cône court et tronqué. Or, le croisement de l'ensemble de ces données convergent vers l'identification d'un bel échantillon de crinoïde entier appelé aussi plus communément « lys de mer » aujourd'hui. Tout crinoïde, du groupe des échinodermes, possède une morphologie aisément reconnaissable avec un calice orné de « bras », que Goy a pris pour une arborescence racinaire, reliée à son pédoncule appelé aussi tige. La terminologie végétale est conservée actuellement. Et tout article de tige ou entroque est facilement reconnaissable par un canal central et une cassure brillante liée au clivage des cristaux de calcite constituant leur squelette (Foucault et Raoult, 2005, p. 90). Or le mont de Bregille à Besançon, localisation de sa découverte fossilifère, est constitué de barres rocheuses calcaires d'une structure anticlinale où affleurent les étages séquanien et argovien du jurassique. Ces calcaires oolithiques présentent un faciès coralligène riche en articles silicifiés du genre *Apiocrinus*³⁴¹ (Goguel, 1967). Ce genre d'échinoderme présente en effet un calice piriforme passant graduellement à une tige segmentée d'articles cylindriques. Les cinq bras régulièrement bifides sont rarement conservés et la racine est fortement ramifiée (Cailleux et Chavan, 1972, p. 191 ; Fischer, 2000, pp. 176, 179, 212).

Notre enquête, en cours, a été momentanément arrêtée car le déménagement de la collection de paléontologie de la faculté de Besançon en 2000, a dispersé les échantillons dans différents lieux et certains sont encore dans des cartons.

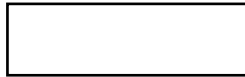
³⁴¹ L'espèce « meriani » est référencée dans la carte géologique régionale mais nous ne l'avons pas retrouvée ni dans les références bibliographiques de détermination pratique des fossiles ni sur le nouveau site des collections paléontologiques « *transtyfpal.u-bourgogne.fr* », base de données rassemblant des informations textuelles et des images des spécimens types et figurés de paléontologie des collections françaises, créée depuis 1986. L'illustration la plus proche offerte sur ce site est celle d'*Apiocrinus changarnieri*, du même étage corallien du jurassique supérieur. Y aurait-il eu un changement de nomenclature ?

Projet de classe et situation de débat en CM1 sur la nature des fossiles

ANNEXE 23

**MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE DE LA CLASSE DE
CM1 / OBSTACLE ANIMISTE DE VÉGÉTATION DES FOSSILES
Premier épisode (formulations d'élèves, occurrences 117 à 254)**

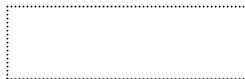
Légende



Problème de la « croissance » d'un fossile



Problème du rapport de taille entre les animaux
vivants et les fossiles, fossilisation partielle



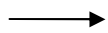
Problème d'un évènement brusque

Q = **question**

R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**

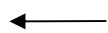
-bis = complément de réponse, de question ou d'objection



QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question



RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question



RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou
même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

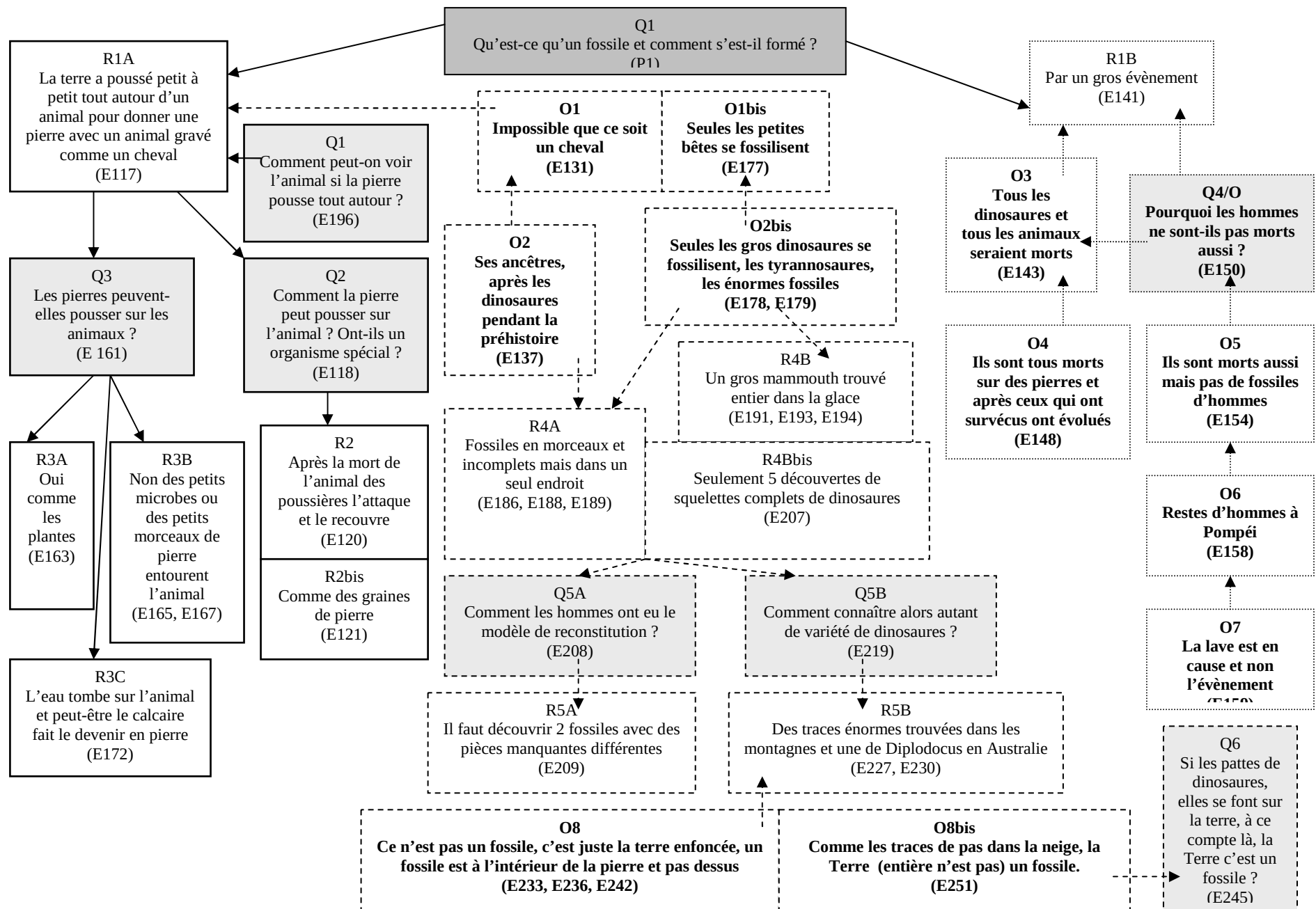
(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 4)

(P) : occurrence professeur

-les bifurcations dichotomiques = diverses solutions de réponses à la même question

-les flèches horizontales ou verticales = inférence unique

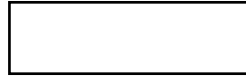
Annexe 23 Macrostructure de la controverse / obstacle animiste –premier épisode (formulations d'élèves)



ANNEXE 24

**MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE DE LA CLASSE DE
CM1 / OBSTACLE ANIMISTE DE VÉGÉTATION DES FOSSILES
Second épisode (formulations d'élèves, occurrences 460 à 517)**

Légende



Problème de la « croissance » d'un fossile analogue aux végétaux

Q = **question**

R = **réponse ou argument**

O = **objection ou contre-argument**

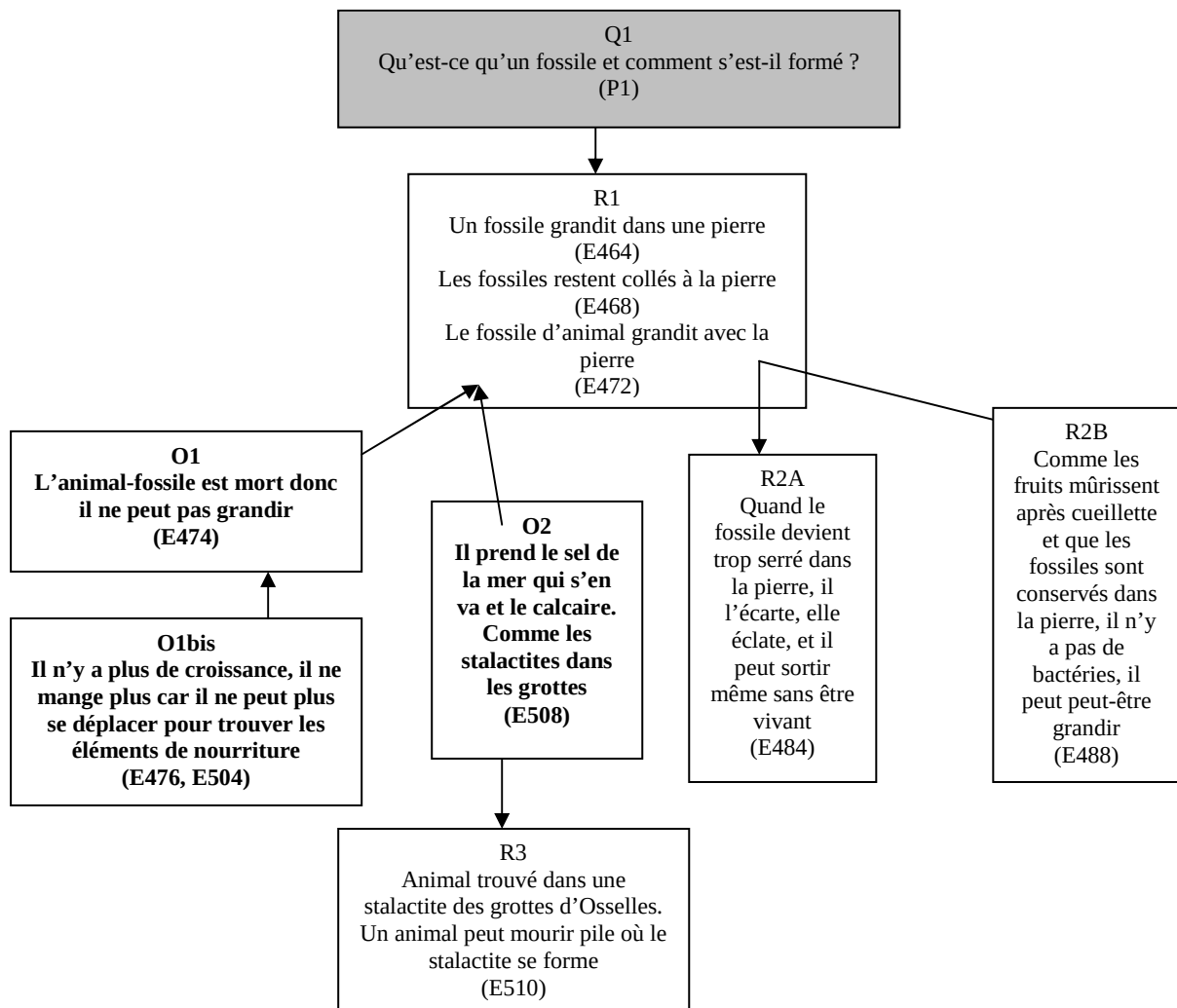
-bis = complément de réponse, de question ou d'objection

- QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question
- RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question
- ← RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 4)

(P) : occurrence professeur

- les bifurcations dichotomiques = diverses solutions de réponses à la même question
- les flèches horizontales ou verticales = inférence unique



ANNEXE N°25

ESPACE DE FORMULATIONS, un extrait de débat en CM 1 : Les fossiles peuvent-ils grandir ?
(Occurrences 460 à 517)

**REGISTRE
EMPIRIQUE**

(488) C'est un peu comme les fruits comme quand ils ont été cueillis, ils peuvent encore mûrir

(510) Oui parce qu'une fois aux grottes d'Osselles et bien dans une stalactite où t'avais un petit heu, un p'tit animal dedans qui était fossilisé

(508) Comme les stalactites dans les grottes

**REGISTRE
DES MODELES
EXPLICATIFS**

(464) les fossiles se forment dans une pierre et grandit
(503) si, un fossile ça peut grandir

(474) Mais l'animal, vu qu'il est mort quand il devient fossile,... il peut pas grandir !
(476) il peut pas grandir parce qu'il a plus de croissance, il ne mange plus rien ! Il peut plus se déplacer donc il trouve pas les éléments qu'il lui faut pour manger et donc il peut pas grandir !

(514) Ils peuvent mourir à un endroit où c'est une stalactite qui peut se former. Ils peuvent mourir pile... Ben la stalactite elle peut se former dessus.

(488) du coup ils (les fossiles) peuvent peut-être encore (grandir) Comme ils sont conservés dans la pierre
(490) il peut p'être encore grandir parce que 'y a pas les bactéries

(504) L'animal et le fossile, quand la pierre vient et bien après il ne bouge plus alors il ne peut pas grandir parce qu'il est déjà mort !

(472) puisque le fossile il, la pierre elle grandit, pis l'animal il grandit donc le fossile, il grandit avec

(508) Comme il ne peut plus grandir, si il est dans la mer, le sel, il peut prendre le sel, [...] quand il pleut il reste des résidus de calcaire pis d'autres matériaux qui sont dans l'eau et pis ça fait de la pierre

(478) Il est mort mais il peut comme il est trop serré, il est par exemple trop gros par rapport à la pierre. Et pis elle s'écarte. Et bien ...après la pierre elle commence à éclater et il peut sortir

(508) pis comme la mer elle s'est un peu en allée

Controverse historique au XVIII^e siècle sur la nature des fossiles

ANNEXE 26

**TRANSCRIPTION DE LA REPONSE MANUSCRITE
DE GUETTARD A VOLTAIRE
AU SUJET DE LA FORMATION DES PIERRES ET DES COQUILLES
Première partie– Manuscrit inédit**

GUETTARD, J.-É. (postérieur à 1768). *Ms 2186 -Minéralogie 1, B. Notes diverses sur la minéralogie, son utilité, la façon de l'étudier- Réponse à Voltaire au sujet de la formation des pierres et des coquilles, et des erreurs de La Sauvagère.* Paris : Bibliothèque du Muséum d'Histoire naturelle. (Feuilles 50 -51)

Remarque : Les manuscrits, difficilement lisibles de Guettard comme le fait remarquer J. Roger qui a transcrit une lettre à Buffon (1962, p. cxxxix), nécessitent que certains mots de cette transcription soient mis en italique car nous doutons encore de leur déchiffrement. Ceux qui sont restés vraiment indéchiffrables, sont indiqués par le sigle xxx.

Formation des pierres et des coquilles

Rq : ce paragraphe manuscrit de Guettard est à mettre en corrélation avec le chapitre des *Singularités de la nature* de Voltaire intitulé "Observation importante sur la formation des pierres et des coquillages"

[feuille 50 recto] Les erreurs de M. de la Sauvagère étoient si analogues à celles de M. de Voltaire, que ce dernier les embrassa des qu'elles pourtant il s'appuya sur des mauvaises observations de M. de la Sauvagère et *estans* il crut très fort porter sur la réputation d'un aussi grand homme que M. de Voltaire. Les compliments de part et d'autre ont été prodigués et ces deux célèbres observateurs, réunis se sont crus invincibles. M. de Voltaire après avoir rapporté les visions de M. de la Sauvagère *suivit*. N'y a-t-il pas de quoi étonner. & ce qui étonne les connoisseurs en cette matière c'est que M. de Voltaire ne soit pas étonné de ce que M. de la Sauvagère avance. Comment peut-il s'imaginer que des coquilles qui ressemblent entièrement à celles qu'on tire de la mer, puissent avoir été formées [feuille 50 verso] par une cause aussi il ne *regardère* que celle qui forme le depost dans l'Etang Des Places. Sans doute que ces pierres ne sont dues qu'à un dépost. La matière qui la forme n'est pas certainement d'une nouvelle création. Il n'a pas aussi pour cause le changement de l'eau en terre. Il n'est donc qu'un *ouvrage* de matière charriée par l'eau des pluyes qui tombe dans ce bassin. Comment cette matière dure ou molle dont les roches voisines sont composées a la vertu de produire des coquilles ou elle contient des grains de ces coquilles qui se développent dans le bassin de M. de la Sauvagère. Mr. de Voltaire a dit bien réfléchir avant d'embrasser cette opinion erronée. Ou n'est-ce pas plutôt l'amour propre qui le séduit. Un *proche* qui *nit* le *mouvement* ne se rendit pas aux raisons du chirurgien, qui luy soutenoit que son bras n'avoit pas se disloquer sans mouvement. M. de Voltaire trouve [feuille 51 recto] qu'il est dur pour un philosophe comme luy de se rendre aux raisons convaincantes qu'on a déjà données contre ses erreurs. Luy qui est si grand partisan de M. de Fénelon³⁴², ne l'a pas pris pour son modèle de conduite. Du château Des Places M. de Voltaire nous transporte d'un trait de plume au Gambie et à celui du Bissao³⁴³ et parce qu'on trouve suivant luy des huîtres dans les fleuves, il se forme des coquilles dans le bassin du château Des places et les coquilles fossiles se forment dans les montagnes. Si le raisonnement est juste il faut jeter aux feux tous les livres de logique qui ont été faits depuis Aristote jusqu'aux Messieurs de Port Royal³⁴⁴. Son xxx on même bien observer dit M. de Voltaire et pour preuve il nous donne les observations de M. de la Sauvagère. Si les xxx observent de

³⁴² Fénelon, François de Salignac de la Mothe (1651-1715) est un prélat français renommé pour sa grande habileté de la dialectique. Il fut nommé à l'Académie française en 1693. Les écrits que nous pouvons cités dans ce contexte sont : *Dialogues sur l'éloquence* (1681-168-/1718) et *Traité de l'éducation des filles* (1687). Cet ouvrage professait des idées pédagogiques pour leur tolérance.

³⁴³ Référence à l'écrit de Voltaire, les *Singularités de la nature* (1768/1879, chap. XIV, p. 149) qui cite précisément ces fleuves contenant quantité d'huîtres d'après les rapports de voyageurs.

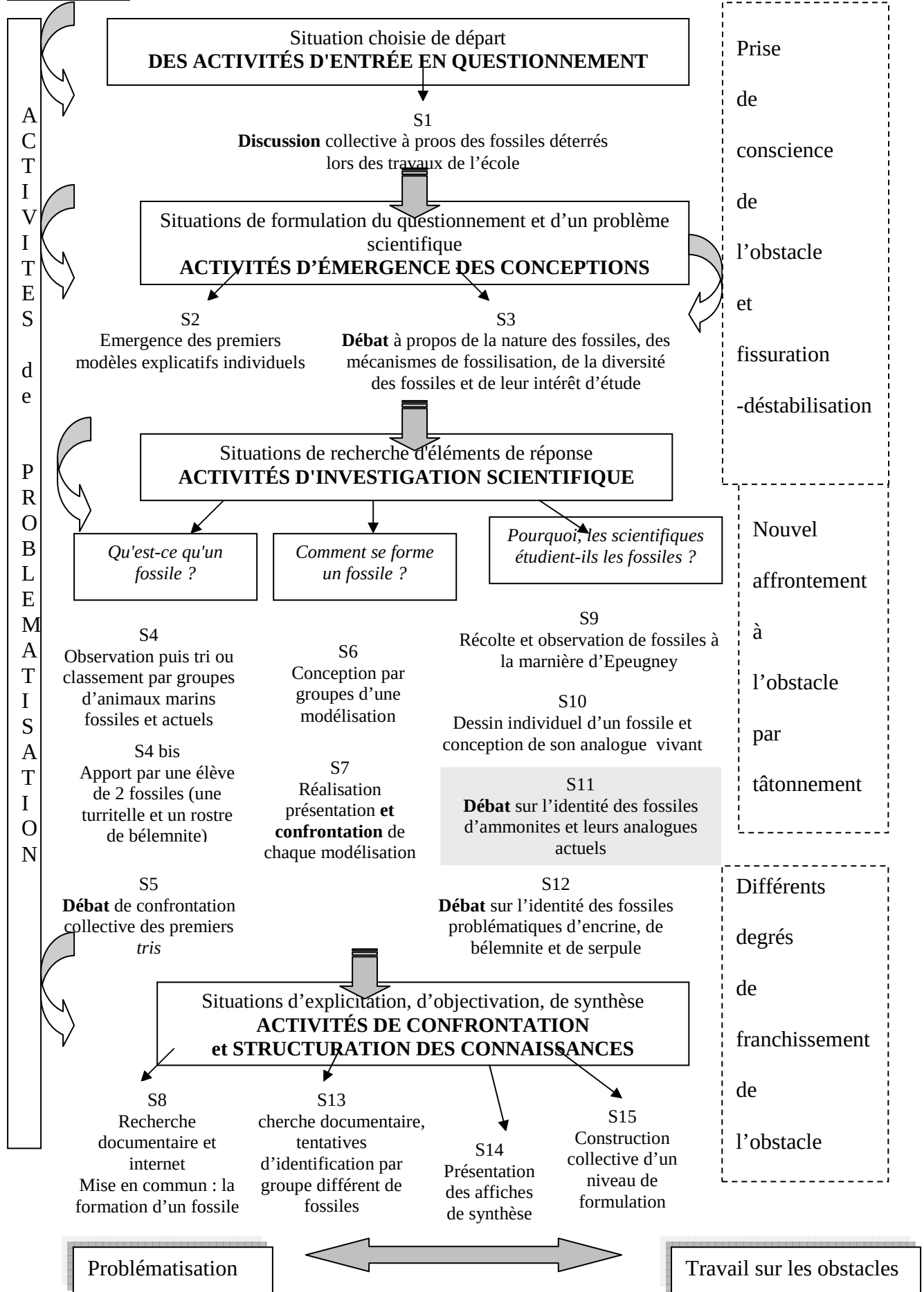
³⁴⁴ Guettard fait référence aux auteurs de la logique dite de Port Royal, ou *La Logique ou l'art de Penser*, parue anonymement en 1662 (Arnault & Nicole). Ce traité pratique, qui fait référence à l'usage fréquent du raisonnement, a été plébiscité pour l'enseignement à l'époque.

même et qu'il y ait des Voltairiens. Cette suite doutera peut-être, mais les bons observateurs se riront de leurs doutes. M. de Voltaire n'apprête-t-il pas aussi à rire aux xxx *porteurs*. Par tout ce qu'il débite sur les amas de coquilles fossiles et sur la [feuille 51 verso] formation des montagnes et celle des pierres.

**Projet de classe et situation de débat en CM2 sur l'identité
d'un fossile**

ORGANIGRAMME DE LA SÉQUENCE EN SCIENCE - CM2 - 2005

ANNEXE 27



ANNEXE 28

ANALYSE DES CONCEPTIONS INITIALES INDIVIDUELLES DES ÉLÈVES DE CM2 : ENSEMBLE DES POSSIBLES

École primaire de Grandfontaine –Classe d'Y. Favory

**Préparation de la séance suivante de confrontation du 11 janvier 2005, analyse élaborée par l'enseignante
(Cf organigramme de séquence Annexe 27, Séance N°3)**

QU'EST-CE QU'UN FOSSILE ?

UN ANIMAL (11élèves)

- coquillage
- escargot
- poisson
- comme un coquillage ou une coquille d'escargot
- restes de dinosaure –tête – torse – squelette – os
- corps désintégré
- ancien animal

UN MINERAL (5 élèves)

- beaucoup de sortes de pierres
- caillou avec une trace sur lui-même
- plusieurs fossiles dans 1 pierre
- durcis dans la pierre
- pierre avec un creux représentant quelque chose
- espèce de caillou avec une empreinte
- pierre gravée, incrustée dans les falaises
- solidification en pierre

TEMPS

- plusieurs étapes /3
- 7 semaines / 1
- Après/ avec les années / 1
- Au fil du temps/ des années / 4
- Trop longtemps / 3
- Millions d'années / 4
- Milliards d'années / 1
- Très très vieux quelques millions d'années / 1
- Plus de 50 millions d'années / 1
- Préhistoire / 1

UNE EMPREINTE (7 élèves)

- dans la terre
- sur la pierre
- trace
- des pas
- une patte introduite dans une pierre
- dans les arbres (tronc, racines)
- dans l'herbe (incrusté)
- dans la roche (incrusté)

UN OBJET (5 élèves)

- autre chose
- quelque chose d'ancien
- choses préhistoriques (silex - lames)

UN VEGETAL (4 élèves)

- feuille ancien végétal
- plante, noix

ANNEXE 29

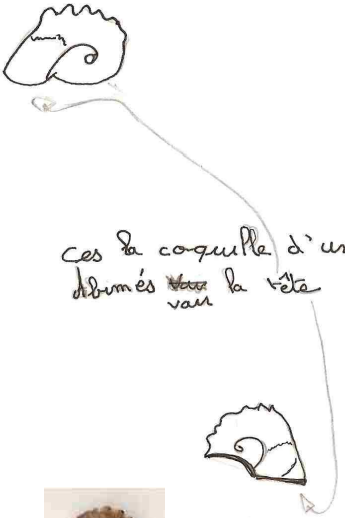
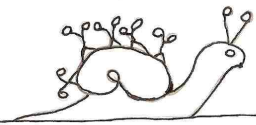
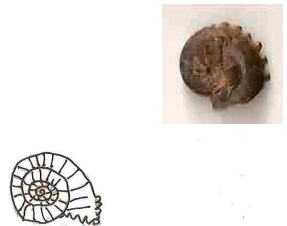
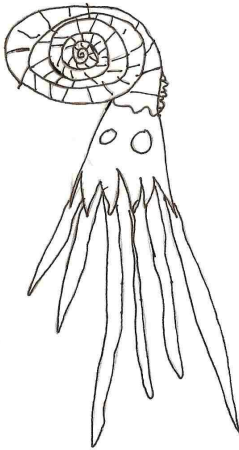
**PRODUCTIONS ÉCRITES DES ÉLÈVES DE CM2 :
DESSINS D'AMMONITES ET DE LEURS ANALOGUES VIVANTS**

École primaire de Grandfontaine –Classe d'Y. Favory – Séance N°10 précédant la séance de débat du 31 mars 2005 (Cf. Organigramme de séquence Annexe 27)

Consigne : « J'observe, je dessine un fossile et je dis comment cet animal vivait avant. L'objet fossile sera posé sur la feuille »

Étude d'un fossile d'ammonite, Genre Creniceras

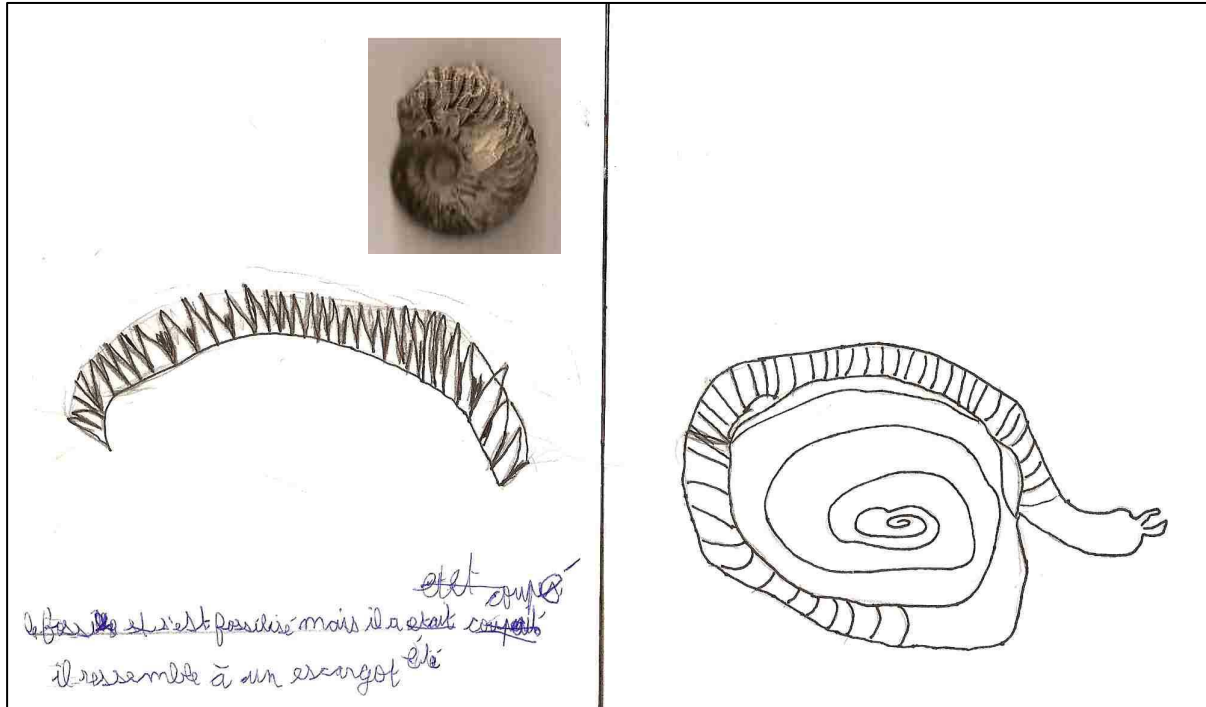
(Forme involute, lisse, aplatie, carène dentée)

Lucile	 ces la coquille d'un escargot ? debout ~~sur~~ la tête van	
Jean	après  AMONITE gros plusieurs fois particularité: petits piques sur le côté	avant AMONITE particularité: nage avec ses longues tentacules. 

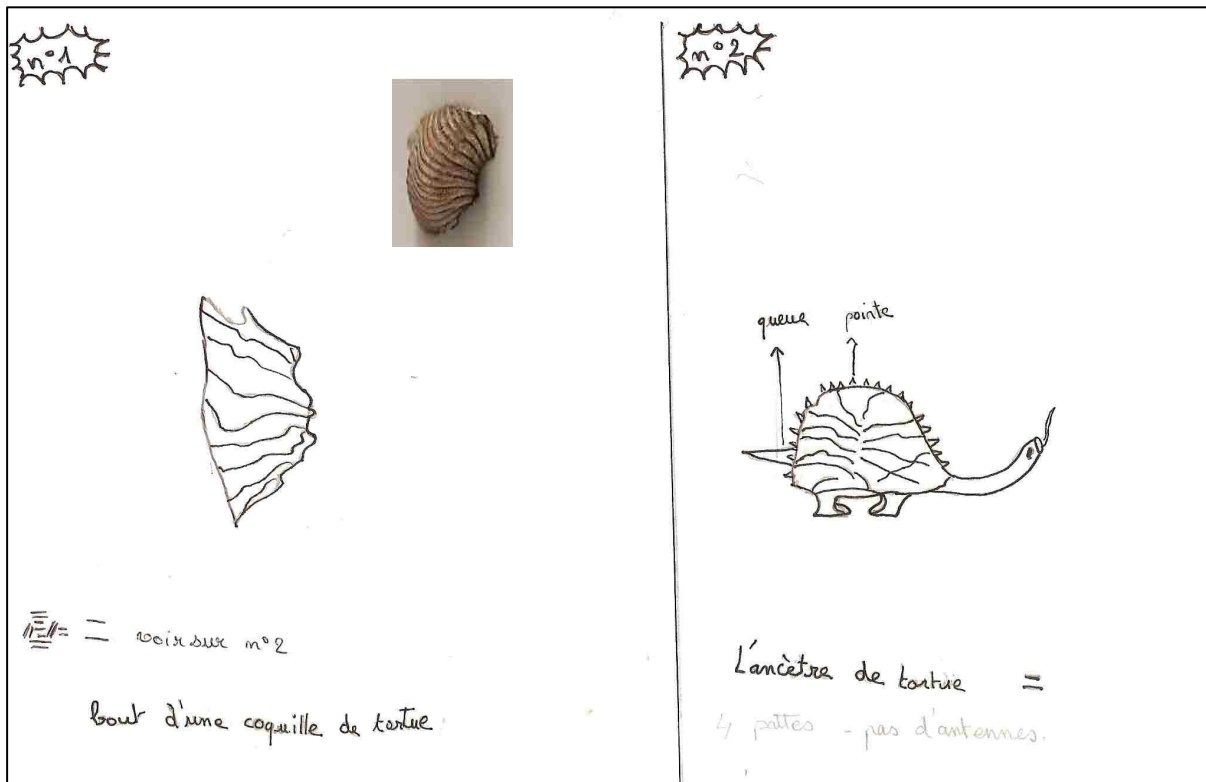
Étude d'un fossile d'ammonite, Genre Cardioceras

(Forme involute, à carène cordée et côtes bifides)

Franck ?



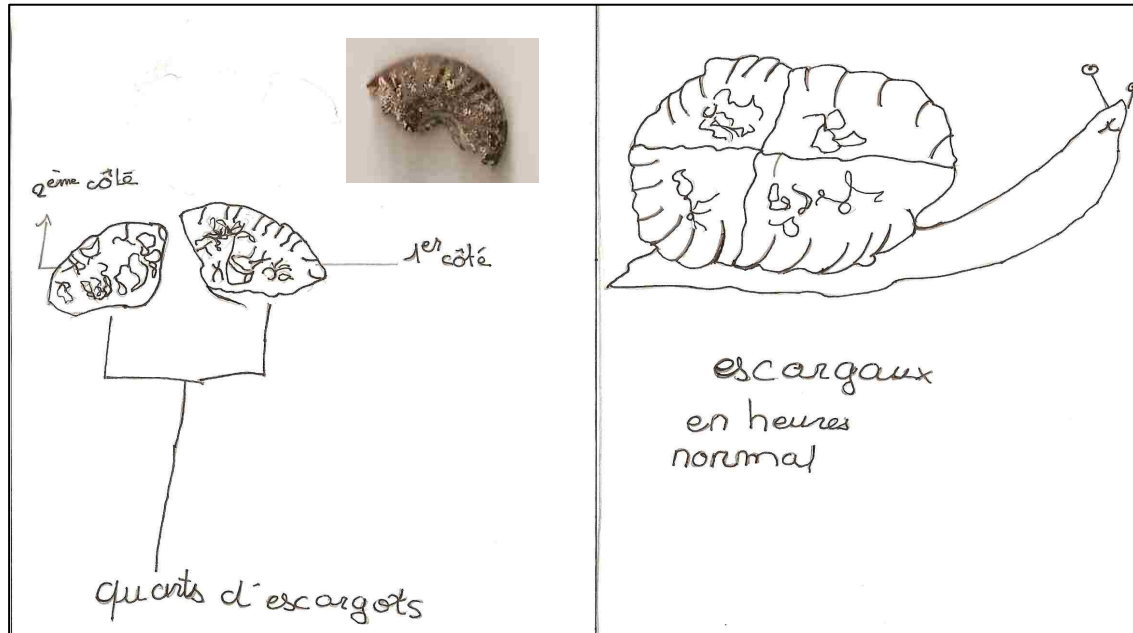
Camille



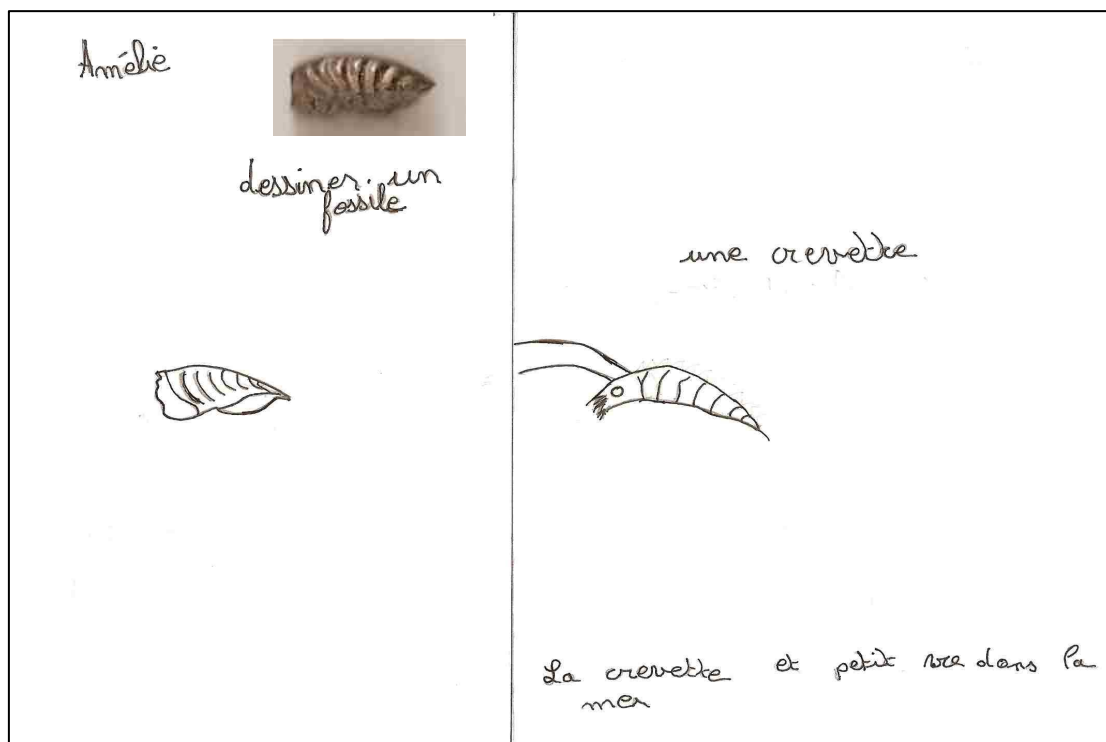
Étude d'un fossile d'ammonite, Genres Arietites ou Hildoceras, ou Taramelliceras (?)

(Côtes épaisses simples, carène à sillon)

Alyson



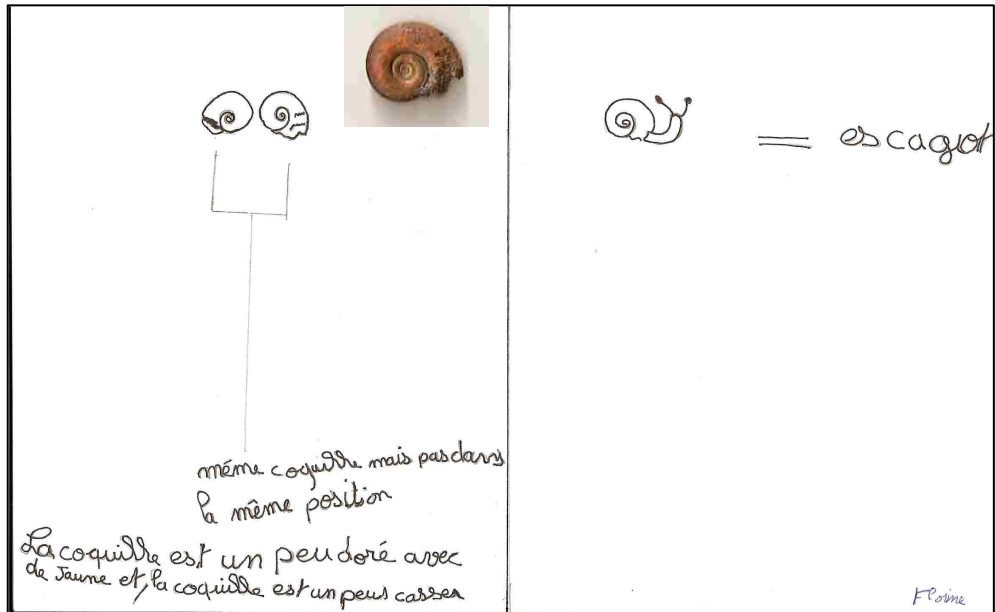
Amélie



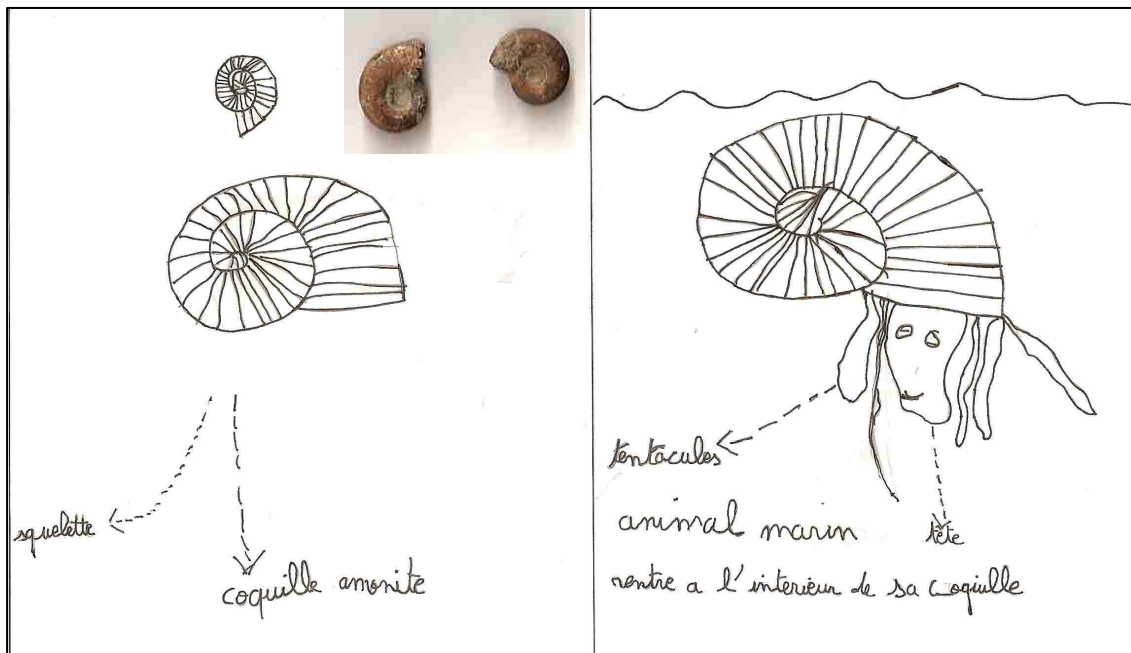
Étude d'un fossile d'ammonite, Genre Oppelia

(Forme involute, spirale à flanc plus épais en leur milieu, sensiblement lisse, section ogivale)

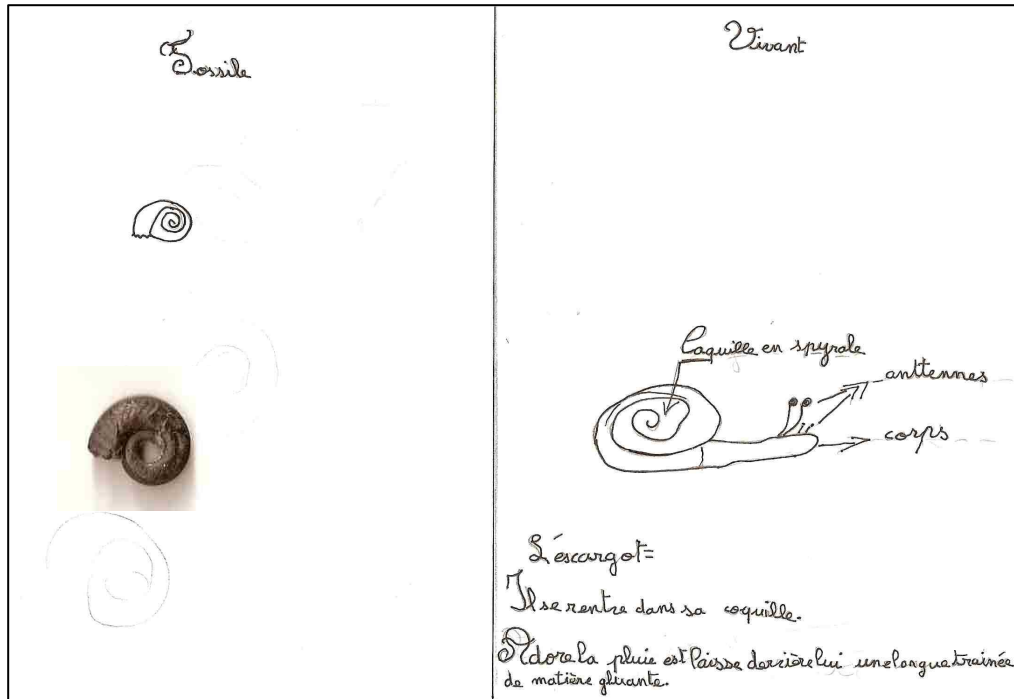
Florine



Simon



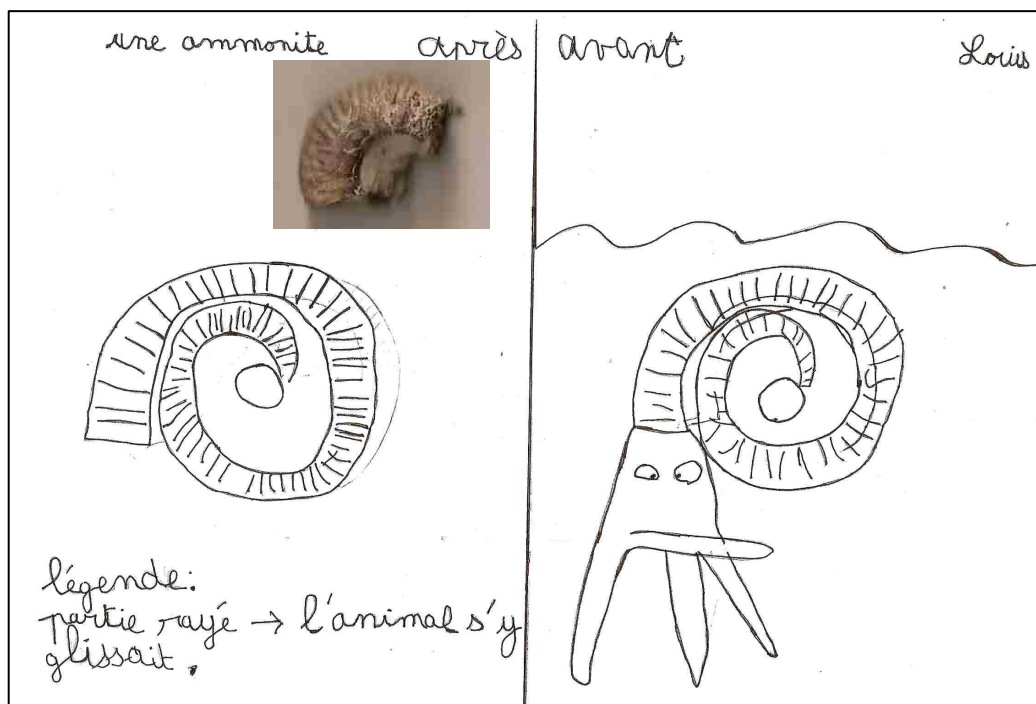
Morgane ?



Étude d'un fossile d'ammonite, Genre Perisphinctes

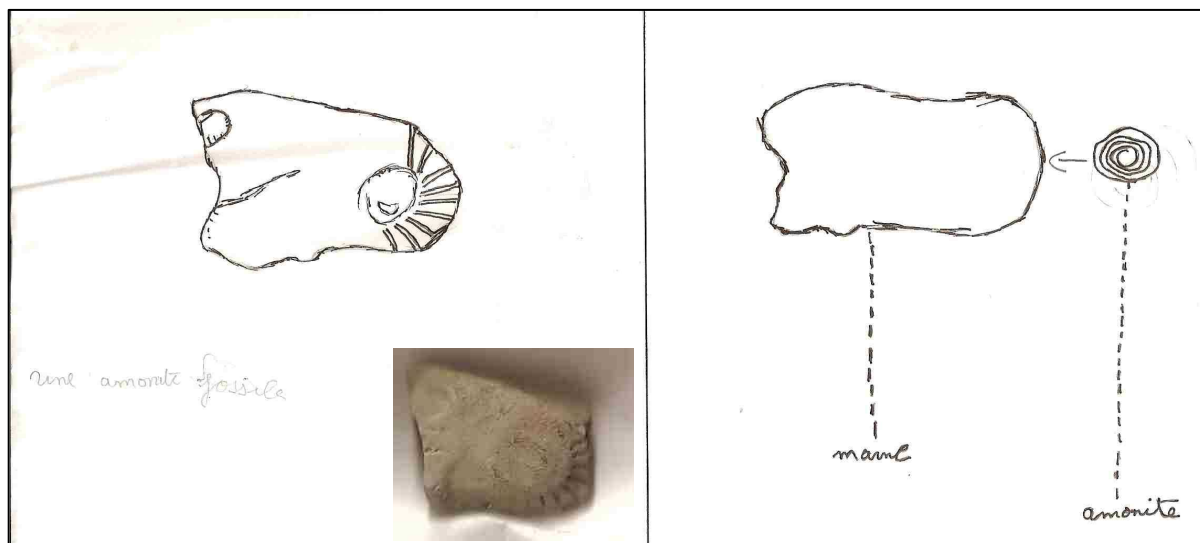
(Forme évolue, côtes arrondies bifurquées en passant d'un flanc à l'autre sans interruption, section carrée)

Louis



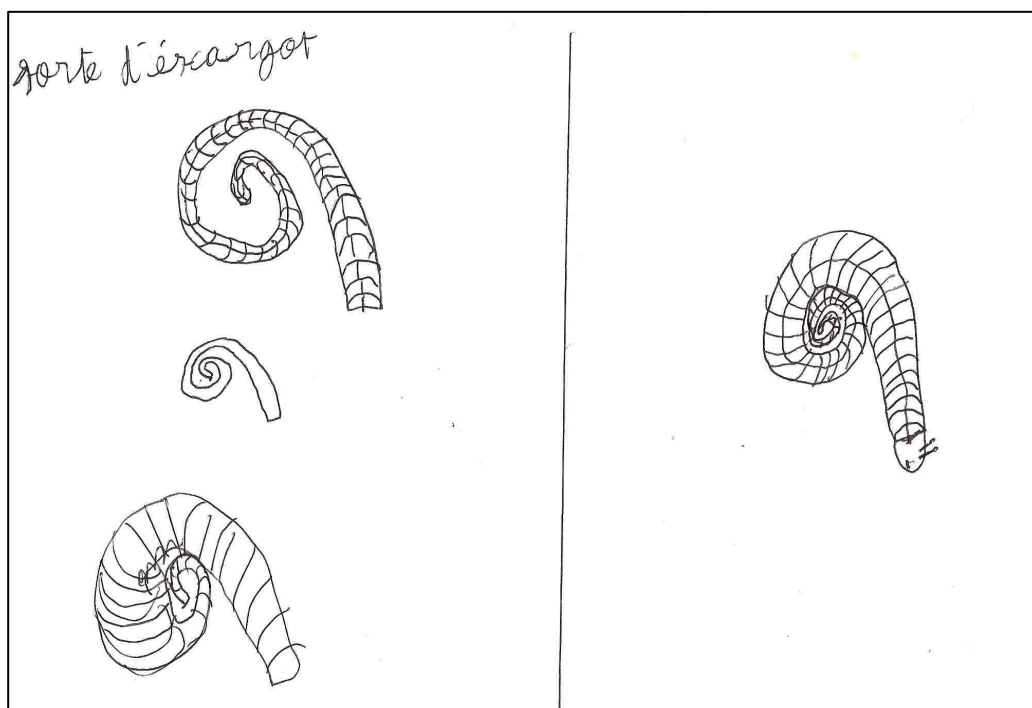
Étude d'un fossile d'ammonite intégré dans la roche

Mathias ?



Étude d'un fossile d'ammonite

Timothée



Remarque : les points d'interrogation associés à certains prénoms sont dus à leur déduction par l'analyse graphologique d'autres productions écrites des élèves de cette classe, tous les prénoms n'ayant pas été marqués au verso du dessin

ANNEXE 30**TRANSCRIPTION DE LA SÉANCE DE DÉBAT EN CM2****École primaire de Grandfontaine –Classe d'Y. Favory -18 élèves**

Séance N°11 (36 minutes) du 31 mars 2005 (Cf. Organigramme de séquence Annexe 27)

Séance d'exploitation de la sortie géologique à la marnière d'Epeugney (Doubs), discussion (36 minutes) à propos de l'identification des fossiles récoltés d'ammonites.

Sortie marnière d'Epeugney

1	(2')	<i>Consigne avant dessin et légende du fossile individuellement</i> P : Si vous n'avez pas fait la deuxième partie, là où vous avez fait le dessin, vous mettez à côté, si c'est tout petit vous pouvez mettre un bout de scotch pour ne pas qu'il parte, ou sinon si c'est assez gros vous le posez à côté et vous le laissez comme ça. Et ensuite on va ...faire le tour ...des tables, c'est-à-dire qu'on va se déplacer comme ça. Et vous regardez un petit peu ! La table de Morgane, vous allez voir ce qu'a fait heu ...Franck. //
2		E : On va tourner//
3		P : Franck il était tout seul. Franck t'iras voir là bas Oh Jean ! Les quatre autres vous vous déplacerez comme ça. Et ensuite vous retournerez à vos places. Vous regardez bien ce qui a été fait. Et on verra un petit peu si vous êtes d'accord ou pas d'accord avec ce que vous avez vu...Eventuellement si quelqu'un a dessiné la même chose que vous, s'il a mis la même légende. Eventuellement si vous voyez quelque chose heu, lequel heu laquelle pardon qui n'est pas foncièrement d'accord là où vous êtes, et bien on reviendra à cette place et vous montrerez ce que vous avez fait ...qui n'est pas heu... foncièrement d'accord ... avec ce que vous avez fait. Voilà !
4	(3')	E (Lucile) : Mais Maîtresse
5		P Oui ?
6		E (Lucile) : Est-ce qu'on peut mettre spécialement //
7		P : Ah j'ai dit une légende, c'est-à-dire il faudra mettre un nom à son dessin. Tu peux même annoter ton dessin si tu veux hein ! Suivant comment tu l'as dessiné. Si tu l'as dessiné comme ça ...ou tu l'as dessiné comme ça
8		E (Franck ?) : Pis on lira ce qu'on a marqué ?
9		P : Tu peux mettre une légende. Oui, oui. ...
<i>Travail individuel ou par groupe</i>		
10		P : XXX Pourquoi ?
11		E (Julie) : Je sais pas quoi mettre celui-là ...
<i>Travail individuel ou par groupe</i>		
12	(4')	<i>Confrontation collective des dessins légendés</i> P : XXX Les plus petits de vous asseoir sur les chaises, les plus grands vous vous mettez derrière. Et on va essayer de discuter ...sur les feuilles, enfin sur lesquelles, sur les fossiles dessinés que vous avez dessinés, qu'on va emmener là-bas. Dans un premier temps. On va faire comme ça. hein ?

Récréation

<i>Changement de place, tous les élèves sont autour d'une table exposant les différentes productions individuelles</i>	
13	P : On en trouve 2, 4, 6, 8, 10, 11. Et on les a mis ensemble ...pour certaines raisons. vous allez peut-être les trouvez tout seul d'ailleurs ces raisons. Et heu je voudrais aussi vous dire que dans la sortie que nous avons faite mardi, heu on est allé chercher des fossiles ; et je voudrais vous poser une question : est-ce qu'on a trouvé une seule variété, d'après vous, de fossiles ?
14	EEE : Non. Non
15	P : On en a trouvé plusieurs ...effectivement. On regardera peut-être ça tout à l'heure. Et maintenant j'aimerais bien que vous regardiez tout ce qu'on a mis ensemble. Et déjà peut-être une première chose heu : d'après vous pourquoi a-t-on mis ces fossiles-là ensemble ? Est-ce qu'ils se ressemblent ? Est-ce qu'ils sont différents etc? ... Alors vous pouvez y allez. Pis alors, vous essayez après suivant ce qu'on dit, c'est pas la maîtresse qui parle, vous essayez de parler entre vous. On va commencer par Julie. Pis après, les autres baissez vos doigts, vous répondrez à Julie peut-être.
16	E (Julie) : Alors heu ...Ben j' dirais parce que déjà celui-là, celui-là, un peu celui-là, y'en a beaucoup qui sont fait comme ça//
17 (5')	P : Ca veut dire quoi « fait comme ça » ?
18	E (Julie) : Ben la forme d'es, y'en a qui ont parlé de formes d'escargots, d'autres comme heu ...Simon d'amanites. Donc heu je pense que c'est pour ça que vous les avez mis ensemble, heu ...
19	P : Hum, hum...
20	E (Julie) : Après comme Alyson, elle a parlé là heu elle a parlé d'escargot, là aussi on a parlé d'escargot, c'est pour ça que vous les avez mis ensemble c'est pareil pour heu celui du fond là-bas, c'est pareil pour celui de Camille//
21	E (Morgane) : Ah non ! Ca c'est la tortue
22	E (Julie) : Bon ben la tortue peut-être que//
23	E (Morgane) : Ah, je sais !... A mon avis, peut-être que aussi peut-être c'est pour ça. A mon avis c'est aussi parce que heu ...soit ils s'enroulent, ou soit comme celui là ou celui là, c'est //
24	E (Timothée) : Ils sont cassés les deux, Ils sont cassés, Ils sont cassés
25	E (Morgane) : Oui ils sont cassés //
26 (6')	E : C'est des parties d'enroulement
27	E (Morgane) : Mais c'est des parties, c'est des parties d'enroule... Ca c'est entier, mais ça c'est pas entier et ça non plus d'abord, ça là-bas non plus
28	P : Hum, hum. Vous êtes tous d'accord avec ce que dit Morgane ? Mélissa
29	E (Mélissa) : Morgane, tu vois ça peut se continuer là parce là on voit, ça peut être un peu cassé, mais ça peut pas être XXX
30	E (Morgane) : J'comprends pas
31	E (Mélissa) : Ca peut se continuer !
32	E (Morgane) : Ah ben oui. Ah mais ça, ça se continue déjà plus que ça ou ça
33	P : Oui. ...
34	E (Franck / Timothée) : Ou bien ça
35	P : Donc heu vous avez entendu ce qu'a dit Morgan. D'ailleurs c'est Timothée qui l'a dit tout à l'heure, c'est-à-dire un morceau cassé hein. Alors si ce morceau là était justement cassé Timothée, là on nous a fait effectivement le dessin, mais à partir de ce dessin là, qu'est-ce qu'on pourrait faire ? ... De ce morceau là pardon ?
36	E : En trouver d'autres mais là heu
37	E (Morgane) : Oui en trouver d'autres
38	E (Louis) : Le compléter

39	(7')	P : Oui mais ça c'est les archéologues qui remontent les pots à partir de petits morceaux. Oui à partir de ça et si on regarde l'autre là bas ?
40		E (Camille) : Essayer d'en trouver un autre complet
41		P : Ca on pourrait, d'ailleurs avec la stagiaire, elle vous en avait apporté un
42		E (Camille) : On pourrait essayer avec celui-ci de voir comment il pourrait être
43		P : Oui
44		E (Morgane) : A mon avis essayer de comparer, et de regarder heu heu ce morceau là, à quelle partie ça pourrait bien ...
45		P : Oui on pourrait justement, on verra peut-être avec d'autres exemples tout à l'heure. Mais si on avait demandé à partir de là, il a dessiné ce bout, pour avoir la même chose que ça, qu'est-ce qu'il aurait pu faire ?
46		E (Timothée) : Continuer
47		P : Oui, montre voir avec ton doigt ce qu'il aurait pu faire Timothée, ce qu'on aurait continué ?
48		E (Timothée) : Il aurait pu continuer comme ça et pis par exemple...
49		P : Par exemple. vous comprenez ça ? D'où vient ce morceau ? Alors, qu'est-ce que vous avez remarqué en plus sur ces heu ... sur ces morceaux ou sur les parties qui étaient entières. Qu'est-ce que, qu'est-ce que vous avez fait sur vos dessins, qu'est ce qu'on voit... surtout ? ... Louis vas-y
50	(8')	E (Louis) : Et bien on voit essentiellement, comme elle dit Julie, des escargots, mais enfin pas escargots, mais en spirales, des amanites... non ça doit plutôt être des ammonites j'y pense. Et ben... on a tous imaginé des trucs différents et pis c'est pas la même variété. Parce que par exemple celle-ci elle est lisse et pis elle a un petit trou au milieu et pis celle-là elle a un peu un peu des bosses
51		P : Elle a des bosses et puis quoi ?//
52		E (Louis) : Elle est rayée
53		P : Oh ! Oui on voit beaucoup heu de stries sur vos dessins. Pour certains pas tous, il a raison heu ...Louis. Et puis alors ensuite donc vous avez fait sur vos dessins cette sorte d'enroulement... visiblement. Et quand je vous ai demandé de, d'imaginer l'animal comme il était quand il était vivant, est-ce que tout le monde a imaginé la même chose ?
54		E (Timothée) : Pas du tout !
55		EEE : Non
56		P : On va écouter Timothée
57		E (Timothée) : Là c'est une crevette, là c'est une sorte de heu... ammonite
58		E (Louis) : De calamar !
59	(9')	E (Timothée) : Ouais voilà. Là c'est une sorte d'escargot, là aussi, là aussi, là aussi//
60		E (Morgane) : Là c'est l'ancêtre de la tortue
61		E (Timothée) : Là c'est l'ancêtre de la tortue
62		P : Là l'ancêtre de la tortue, oui, effectivement. Et puis quoi encore ? C'est tout ?
63		E (Camille) : Une tortue avec des pics !
64		EEE : rires
65		P : Chut ! Ecoutez.
66		E (Camille) : Pour celui là heu Amélie elle a pris à partir du morceau... déjà fait, et si il est cassé il aurait pu être différent
67		E (Louis) : Ben toi c'est pareil !
68		E (Camille) : Non moi j'ai continué après XXX
69		P : Donc Amélie a pensé que c'était donc heu ...une crevette hein ... fossilisée. Et puis bon donc si on pense que c'est un morceau. Amélie alors, qu'est-ce que tu en dis si c'est un morceau, si c'est pas ta crevette, d'après toi ? Comment tu aurais pu faire ?
70		E (Amélie) : Ben ... E : (Julie) : la continuer un enroulement. E (Amélie) : Non mais ça s'enroulait pas
71		P : Oui, toi tu ne pensais pas que ça s'enroulait ?

72	E (Amélie) : Non
73	P : Bon... Mélissa
74	E (Mélissa) : Oui mais elle aurait pu peut-être, comme c'est cassé là, ça aurait pu p'tre continuer faire un coquillage
75	P : Oui. Est-ce que ce sont des coquillages ?
76 (10')	EE : Non
77	E (Alyson) : Oui, Certains
78	E (Camille) : Desfois
79	P : Alors certains ! lesquels sont des coquillages ? Et Lesquels ne le sont pas ? ... D'après vous ?
80	E : Camille elle //
81	E (Morgane) : Celui-là déjà, à mon avis c'en n'est pas un
82	P : Pourquoi ?
83	E (Morgane) : Ben chais pas ça me paraît bizarre parce que là on voit pas bien avec le scotch mais //
84	E (Timothée, Simon, Hédi ?) : Ben tu peux l'enlever si t'en a envie
85	P : Enlève le scotch !
86	E : Faut pas arracher la feuille quand même
87	E : Prend des ciseaux pour couper
88	P : Tout à l'heure vous avez quand même dit, bon d'après Louis a dit que tous se ressemblaient, mais qu'il y avait certains étaient lisses, d'autres qui étaient avec des stries, que tous se ressemblaient
89	E (Morgane) : C'est celui là, c'est celui là (<i>Creniceras</i> ?)...Celui là quand on le touche on voit les rayures de vue mais aussi quand on le touche, on sent que ça fait des petites bosses, à mon avis ça, ça peut pas être un coquillage
90	P : Et pourquoi ?
91 (11')	E (Morgane) : Ben parce que heu, chais pas, j'ai j'ai heu j'ai pas, pour moi un coquillage, c'est plutôt lisse//
92	E (Camille) : Ben ça dépend
93	E (Julie) : Ah ben oui ça dépend parce que XXX
94	EEE : Ben oui ça dépend
95	E (Julie) : Maîtresse ?
96	P : Qui peut répondre à Morgane en prenant des exemples là-dessus puisqu'elle parle là-bas de ... qu'il a des stries, et elle, elle pense qu'un coquillage c'est plutôt lisse. Donc prenez des exemples sur la table et répondez-lui si vous voulez... Allez, Louis vas-y.
97	E (Louis) : Ben celui là il est lisse... ben il est beaucoup plus lisse que les autres pis pourtant on dirait pas que c'est un coquillage//
98	E (Morgane) : Oui mais moi je dis les coquillages sont lisses, mais heu ceux qui sont lisses ne sont pas forcément des coquillages !
99	E (Simon) : Mais Morgane y'en a, pas tous XXX
100	E (Morgane) : Mais parce que t'as pas compris
101	E (Simon) : Non pas vraiment
102	P : Et par rapport à celui-ci (<i>ammonite à plusieurs tours</i>), tu dirais quoi Morgane ?
103 (12')	E (Morgane) : Pour moi c'est, pour moi, c'est quelque chose de qui était vivant avant
104	P : Et pis pas le morceau qu'a Simon ?
105	E (Morgane) : Si mais
106	E (?) : Mais c'lui-là c'est un coquillage
107	E : Ooooooh !
108	E (Julie) : Maîtresse ... Maîtresse, mais par contre là quand Morgan elle dit ça, mais pas forcément parce moi parfois quand je vais chez mon papi-mamie, je trouve assez souvent des coquillages comme ils sont fait, y'a deux coquilles et y'en a qui sont rayés et parfois je les touche et ben//

109	E (Morgane) : Oui mais c'est pas des coquillages parce que si y'a deux parties, c'est pas un coquillage
110	P : Mais c'est pas à moi qu'il faut parler
111	E (Jean) : Morgane aussi, Morgane, tu peux avoir des coquillages d'huîtres par exemple et c'est pas forcément lisse
112	E (Morgane) : Oui mais pour moi heu une huître c'est pas un coquillage parce qu'y a la bête dedans
113	E (Jean) : Mais parce que, mais la bête elle peut crever et après (rires) la coquille elle peut aller au rivage et après ça peut tomber sur le sable hein ! Et ça c'est un coquillage quand même
114	E (Franck) : Elle peut crever !
115 (13')	E (Morgane) : Pour moi, un coquillage. Quelque chose qu'était heu qu'qu'chose qu'était vivant avant quoi comme tu dis une huître par exemple, ben pour moi c'est pas un coquillage. Pour moi un coquillage c'est qu'qu'chose qu'est pas vivant quoi ...
116	E (Jean) : Et ben dans ce cas là XXX
117	P : Alors attendez, on va pas s'éparpiller parce que là on est. On reviendra sur ton problème. On va le marquer tout à l'heure, il faudra quand même qu'on cherche vraiment ce qu'est un coquillage au moins par rapport à toi.
118	E (Morgane) : Ouais
119	P : Mais on va un petit peu essayer de se recentrer par rapport à tout ça. Alors donc on a dit tout à l'heure que tous ceux qui étaient ici se ressemblaient. Tout le monde était d'accord ou pas ?
120	E (Simon ?) : Heu ?
121	P : Oui ou non ?
122	E : Non
123	P : Mais que certains, moi il me semble. Mais que certains, peut-être que je me trompe hein, mais que certains étaient entiers et que d'autres étaient des morceaux ...d'un animal qui serait le même au départ, c'est ça ?
124	E (Julie ?) : Et qui serait pas la même race
125	P : Et pas, et pas la même race ?
126 (14')	E (Julie) : XXX Des heu. Par exemple comme Louis il a fait un heu une aamanite, et pis là il a fait des escargot et tout, donc et pis là il a fait une crevette
127	E : Et pis là une tortue
128	P : Et pourtant je reviens vous venez de me dire Hého ! Vous venez de me dire, vous venez de me dire que ça, ça, celui-là au départ ça se ressemble. Ils ne sont pas les mêmes, il a employé le mot race, bon j'aime pas trop ce mot mais XXX peut-être qu'il y a des choses, effectivement ça se ressemble, c'est légèrement différent puisque on voit ici que, là c'est lisse, là c'est strié par exemple mais au départ ça pourrait être heu ... ça pourrait avoir la même origine ?
129	E (Julie) : On n'a pas tout le temps, mais on pense heu ...pas forcément aux mêmes choses donc heu c'est pour ça il faut avoir aussi des heu
130	P : Oui, alors est-ce qu'on est d'accord que au départ on aurait quelque chose de très ressemblant et qu'après vous avez imaginé des ... l'animal qui vivait, c'est ou l'ancêtre de la tortue, ou l'ancêtre de l'escargot, ou je ne sais plus après
131	E : La crevette
132	P : Ou l'ancêtre de la crevette
133 (15')	E (Louis ?) : Là c'est l'ancêtre du calamar
134	P : L'ancêtre du calamar. Alors est-ce qu'on peut déjà marquer ça. Et puis, réfléchissez un petit peu à ce qu'on vous avait demandé, à une troisième question aussi, au travail que faisait le scientifique.
135	E : Ah oui les scientifiques
136	P : Est-ce que vous pensez qu'on n'est pas en train de faire la même chose ?
137	EEE : Si
138	P : Et pourquoi faire ? Et pourquoi faire justement ?

139	E (Camille) : Pour essayer d'imaginer comment ils étaient avant.
140	P : Voilà, essayer d'imaginer comment ils étaient avant.
141	E (Morgane) : Et eux c'est pareil !
142	P : Et en comparant par rapport à quoi ?
143	E (Mélissa) : A aujourd'hui
144	P : A ceux d'aujourd'hui. C'est dommage que je n'ai pas préparé mon..., j'ai des choses là bas..., des des coquilles vivantes. J'aurai du vous les mettre à côté. J'ai peut-être fait une petite erreur, mais je les chercherai tout à l'heure. Alors qu'est-ce qu'on peut lister au tableau déjà par rapport à tout ce que vous avez dit. Alors je vous écoute, qu'est-ce qu'on va marquer ? ... Qu'est-ce qu'on va marquer ? ...Allez vas-y. ... Alors vas-y
145 (16')	E (Laurine) : Ils sont tous en... spirales
146	P : Ils sont en spirales ceux qu'on a trouver ici//
147	E (?) : Oui mais y'en a qui sont cassés//
148	P : On ne sait pas, on ne sait pas son nom, on essayera de chercher après//.
149	E (?) : Y'en a qui sont cassés
150	P : Donc ils sont en spirales ...au départ//
151	E (Louis) : Pis entre parenthèses ils sont cassés
152	P : Ils sont en spirales, en forme de spirale... Alors tu me dis qu'ils sont cassés donc ça veut dire que certains desfois sont entiers, donc on en trouve des entiers alors on va marquer ... des entiers et puis des morceaux. ...Qu'est-ce qu'on a vu encore dessus ? Comment ils sont ?
153	E (Camille) : Y'en a qui sont striés
154	E : Et d'autres lisses
155	P : Voilà, y'en a qui sont striés... Y'en a qui sont Eh Oh ! on arrête de parler parce que sinon j'envoie quelqu'un écrire moi... Y'en a qui sont lisses. Bon
156	E : Y'en a qu'on des trous
157	P : Y'en a qu'on des trous
158	E : Au milieu hein
159	P : Donc ils ont des trous
160 (17')	E : Y'en a qui sont plus petits que d'autres
161	E (Louis) : Oui mais ça ! heu
162	P : Alors ils sont ...
163	E : De différentes tailles
164	E : Craquelés
165	E (Louis ?) : Oui mais la maîtresse elle est plus grande que nous !
166	P : Qu'est-ce que tu dis ?
167	E (Louis) : Ca dépend de l'âge à mon avis
168	P : Alors ils ont des tailles différentes et tu me dis que ça dépend de l'âge. La taille. A mon avis ils ont des tailles différentes.... Franck tu écoutes oui ? !
169	E (Louis) : Oui mais par exemple y'en a qui sont grosses comme ça (<i>grand geste avec les bras</i>) et ça dépend <i>pas</i> de l'âge
170	P : Oui bon alors, ils ont des âges différents
171	E : Mais maîtresse...maîtresse ?
172	E : Pas forcément XXXX
173	P : Alors ensuite j'ai entendu quelque chose là. On m'a parlé de ? Tu viens de dire Florine ?
174	E (Florine) : Les espèces
175 (18')	P : Alors on va mettre espèce avec un point d'interrogation. Sont-ils de la même espèce ?... Voilà, alors on va mettre espèce. Alors espèce On va chercher ce mot aussi exactement pour savoir ce que ça veut dire, avec un point d'interrogation. Sont-ils de la même espèce ? Oui.
176	E (Camille) : Oui mais aussi comme dit Emilie, celui-ci est craquelé

177	P : Il est craquelé. On a dit strié, lisse, craquelé oui !
178	E : Fissuré
179	P : Craquelé, fissuré. Tu m'as parlé de milieu, donc tu penses qu'ils sont différents selon le milieu aussi ?
180	E (Camille) : Heu, avec Alyson, on avait dit aussi le chêne, c'était quoi ?
181	E (Alyson) : Le pin
182	E (Camille) : Le pin voilà, à Mouthe, on avait vu que y'en avaient des tout petits, d'autres étaient tout grands et pourtant ils avaient le même âge. Ben là c'est p'tre pareil
183	E (Louis) : C'est p'tre la différence des espèces
184	P : On avait dit qu'ils étaient différents parce que un était...
185	E (Camille) : Dans un milieu heu ...
186	P : On était dans la tourbière en milieu acide et pis les autres autour n'étaient pas dans le même milieu
187	E (Louis) : Aussi la taille ça peut dépendre des espèces
188	P : XXX On peut dire carrément, Où vivent-ils ? Oui. On va chercher après
189	E (Louis) : Mais aussi la taille ça peut dépendre des espèces
190	P : Peut-être. Où vivaient-ils ? Oui.
191	E (Mélissa) : Maîtresse ?
192	P : Quoi ?
193 (19')	E (Mélissa) : Mais peut-être que quand ils sont grands, ils sont rayés ; quand ils sont petits, ils sont pas rayés parce que ils ont ils avaient pas de rayure encore. Mais quand ils grandissent enfin la coquille elle devient, elle se raye
194	E : Ah oui...
195	P : Toi, tu penses que les rayures viennent une fois que l'animal grandit, c'est ça ?
196	E (Mélissa) : Oui
197	E (Camille) : De l'âge
198	P : Alors comment on va formuler ça un p'tit peu. Donc On a mis strié, lisse. On va passer en dessous. Comment je vais marquer ça ? ... En fonction de l'âge ?
199	E : Oui
200	P : Je marque En fonction de l'âge avec un point d'interrogation. ... On verra
201	E (Hédi) : Maîtresse...
202	P : Voilà De l'âge avec un point d'interrogation. On sait pas. Oui Vas-y.
203	E (Hédi) : Oui je voulais dire quelque chose.
204	P : Oui on t'écoute
205	E (Hédi) : C'est à propos de Morgan. Elle avait dit que les coquillages sont pas habités. Mais ça s'peut, parc'que que y' a des Bernard l'Hermite qui heu, E (Morgane/Camille ?) : elle est morte la bête
206	P : Oui. Ils viennent prendre la place dans un coquillage vide, oui c'est ça
207	E (Hédi) : Elle est déjà habitée, donc heu
208	E : Ah oui
209	P : Ca se pourrait... Alors maintenant on va regarder. Vous avez comparé heu ...ce fossile là, ces fossiles qu'on a trouvés ... avec quels animaux vivants. Alors vous m'avez dit ?
210 (20')	E : L'escargot
211	P : Alors vous m'avez dit : est-ce que c'est l'ancêtre de ...
212	E : De la tortue
213	E : De l'escargot
214	E (Camille) : De la limace
215	E : Non
216	P : L'ancêtre avec un point d'interrogation. Alors on a dit de la tortue ?
217	E (Morgane) : Ouais, du calamar y'a eu
218	E (Louis) : Du calamar
219	P : Du calamar

220	E (Timothée) : Escargot
221	E : Ouais, escargot
222	P : De l'escargot
223	E (Louis ?) : De la crevette (<i>sous-entendu ancêtre vu l'organisation de l'affiche au tableau</i>) ou c'est une crevette d'aujourd'hui ?
224	P : Ah ! ?
225	E : Une crevette de mer
226	P : Ah ! De la crevette. Peut-être y'avait des crevettes à cette époque ? Cà ?
227	E (Julie) : Amélie elle a dit d'aujourd'hui
228	P : C'est une crevette d'aujourd'hui ça ?
229	E (Julie) : Ben c'est c'qu'elle a dit ! XXXX
230	E : Mais ça serait pas une crevette fossilisée hein ?!
231	P : Ben laissez là parler Amélie. C'est elle qui a trouvé la crevette. Allez, vas-y. Vas-y
232	E (Amélie) : Ben moi c'est aussi la crevette d'aujourd'hui heu, mais comme je l'ai dessinée.
233	P : Oui comme tu l'as dessinée maintenant !
234	E (Amélie) : Mais l'autre heu... j'ai mis aujourd'hui mais j'sais pas comment elle était
235 (21')	P : Mais donc elle ressemblerait à la crevette d'aujourd'hui. Donc c'est ce qu'on disait tout à l'heure, c'est le travail que va faire le scientifique c'est-à-dire regarder ce qui se passe, comme elle a fait Amélie. Très bien Amélie. C'est très bien ce que tu as trouvé. Donc elle a dit tiens, les crevettes d'aujourd'hui c'est comme ça, ça me fait penser à, pourquoi. Seulement il va falloir qu'on détermine p'tre autre chose. Mais c'est une bonne idée. Il en manque
236	E : La limace, aussi on avait dit
237	P : On avait dit la limace ?
238	E (Louis) : Ben chais pas, faut demander à Timothée
239	P : On a dit la limace, bon alors, je mets la limace
240	E (Timothée ?) : XXX
241	P : Je sais pas, on a dit la limace ?
242	E (Louis) : Oui mais la limace avec une coquille !
243	P : Oui ?
244	E (Camille) : Quand j'ai vu çui-ci, ça m'a fait penser à une queue de lézard
245	P : Ah une queue de lézard ?
246	E (Camille) : Oui tu vois à une queue enroulée
247	P : Parce que le lézard il a une queue enroulée comme ça ?
248	EEE: Non ! le caméléon
249	E : Le caméléon il en a une par contre
250	E : Oui mais pas tout à fait. Mais avant//
251	E : P'tre que avant
252	P : Alors ce qu'on fera. On va laisser ça comme ça pour le moment et pis ensuite comment va-t-on faire d'après vous pour essayer de trouver des réponses à toutes les questions qu'on s'est posées ?
253	E : Regarder dans les livres
254	P : Chercher dans les livres, oui
255	E : Regarder sur internet
256	E : Demander à un scientifique XXX
257 (22')	P : Demander à un scientifique. Comme scientifique, Mme Crépin,
258	E : On pourrait lui demander
259	P : Elle a bien fait de venir on pourrait lui demander. Mme Crépin mais elle est comme moi, elle n'aime pas dire les choses comme ça, elle préfère que les enfants cherchent, donc ... XXX Vous avez apporté beaucoup de livres, Mme Crépin en avait emmenés

260	E (Louis) : On peut demander aux personnes de se justifier
261	P : De se justifier ?
262	E (Louis) : Ben, à ceux qui l'ont fait !
263	P : Très bien. Mais ils vont se justifier à partir de livres aussi. Parce que là on va peut-être être embêté
264	E (Louis) : Ben on doit dire pourquoi on a fait ci
265	P : Alors on va essayer, tiens ! Allez on va essayer, Allez venez par là. Il a une bonne idée Louis, hein. Viens ici Amélie. On va essayer de se justifier comme il a dit. Alors Louis, tu vas commencer
266	E (Louis) : Moi ?
267	P : Oui, tu vas commencer. Vas-y pourquoi tu as fait ce dessin ?
268	E (Louis) : Celui-là ?
269	P : Oui
270	E (Louis) : Mais il est pas à moi !
271	P : Il est où l'autre ?
272	E (Louis) : Là !
273	P : Vas-y pourquoi tu as fait ce dessin ? ... qui ressemble d'ailleurs fort à l'autre
274	E : Ben oui il a fait le même.
275	E (Morgane) : Y'en a trois, ils ont fait trois pareils
276	P : Oui. Chut écoutez Louis!
277 (23')	E (Louis) : Ben déjà moi heu...j'ai fait ça parce que heu ... à mon avis avant ils vivaient dans l'eau, ben là j'ai dessiné pour montrer que c'était la mer... j'y pense parce qu'avant ici il y avait de l'eau !
278	P : Oui
279	E (Louis) : Donc heu ...ils vivaient sûrement dans l'eau
280	P : D'accord.
281	E (Louis) : Et puis//
282	P : Oui je le note ça le milieu ... pour voir ce qu'a dit Louis... Alors ...continue Louis, c'est pas parce que j'écris
283	E (Louis) : Alors, ensuite moi et ben j'ai ...ça m'a fait aussi pensé au calamar, il a une espèce de truc sur la tête...
284	P : Oui...
285	E (Louis) : Donc j'ai mis une ammonite à la place !
286	P : Et pourquoi tu as mis ammonite ? C'est quoi ça, ce nom ?
287	E (Louis) : Ah ben ça ? Ben j'ai mis ça à la place, en fait comme si...il était comme ça (<i>manipulation du fossile sur sa feuille</i>) c'est une petite bestiole
288	P : Oui. Alors moi je voudrais te poser une question. J'ai marqué ancêtre là. Est-ce que je marque là dedans, calamar etc, Est-ce que je marque ammonite là ? (/ affiche au tableau qui sépare les vivants actuels des fossiles ?)
289	E (Louis) : Ammonite ben, c'est sûrement le nom qu'on donné les scientifiques
290 (24')	P : Mais le nom ..., qu'ont donné les scientifiques à qui ?
291	E (Louis) : Quoi ?
292	P : Qu'ont donné les scientifiques à qui, ammonite ?
293	E (Louis) : Ben ils l'ont donné à ça (<i>fossile montré</i>), à ça ! Mais par contre je sais pas si c'est tortue, calamar ou crevette ou escargot, l' <i>ancêtre</i> ?
294	E (Florine) : A mon avis ammonite c'est tous c'qu'est ... tous c'qu'on a dessiné là !
295	P : Ammonite c'est tous ceux qu'on a dessinés. Donc écoutez Florine, elle dit : ammonite c'est tous ceux qu'on a dessinés, dit-elle. Mais est-ce que ce mot ammonite//
296	E (Louis) : C'est la famille
297	P : Peut-être la famille oui. Mais est-ce que actuellement on en rencontre des ammonites ?
298	EE : Non

299	E (Jean) : Non heu ...comment heu ... qui est morte là
300	E : Eteint
301	E : Eteint
302	P : Tu veux dire en voix d'extinction ou tu veux dire complètement éteint ?
303	E (Jean) : Complètement éteint !
304	P : Oui....Alors heu ... Est-ce que tout le monde est sur de ça ? les ammonites on en rencontre encore à l'heure actuelle ?
305	EEE : Non
306	P : Donc c'est complètement éteint par rapport à ce que tu dis. Et donc on les mettrait où alors ?
307 (25')	E (Jean) : Ben on le mettrait entre l'ancêtre de l'escargot et du calamar. Et aussi.
308	P : Tourne toi vers les autres là-bas
309	E (Jean) : J'ai fait quelque chose. C'est que j'aimerais dire quelque chose.
310	P : Tourne toi, oui vas-y
311	E (Jean) : C'est que moi j'ai déjà vu dans les livres des calamars, HEU des calamars... des ammonites, elles avaient un cartilage un peu avant les yeux avec des tentacules autour. Et après elles nageaient comme ça heu
312	E (Camille) : Mais y'a des animaux qui lui ressemble maintenant, ça porte un nom heu ...
313	E (Jean) : Alors
314	E (Morgane) : Ah OUI ! Un nom bizarroïde
315	P : Ecoutez un peu ! Dis voir heu
316	E (Camille) : Y'a un animal c'est pratiquement exactement pareil, ça se déplace comme ça, et pis c'est à peu près gros comme ça, ça ressemble à un escargot et pis c'est exactement pareil
317	P : Tu connais le nom ?
318	E (Camille) : Heu ... Y'a quelque jours je le connaissais mais maintenant je me connais plus
319	P : On pourra peut-être le chercher dans les livres cet animal là.
320	E : XXX
321	P : Qui lui ressemble encore ?
322	E (Camille) : Ah oui
323	P : Et donc qui ressemblerait bien à ce qu'on fait les autres <i>dans ce coin là</i>, ils ont peut être bien regardé les uns sur les autres d'ailleurs //
324	E : Non
325	P : Louis, Jean, et puis Axel//
326	E (Axel) : Non on n'a pas copié
327 (26')	E (Louis) : Nous on n'a pas recopié, nous on savait ! Mais sinon ...
328	P : Alors, vous vous êtes justifié par rapport à cet animal. Est-ce que tu veux encore te justifier Louis, c'est bon ?
329	E (Louis) : Ben...y'a... pas grand-chose d'autres...
330	P : Bon, Jean, c'est pareil ?
331	E (Jean) : Oui, y'a quelque XXX
332	P : Et est-ce que vous reprenez ce que nous a dit Camille, elle trouve maintenant qu'il y a un animal qui ressemble beaucoup à celui-là ?
333	EEE : XXXX
334	E (Louis) : Oui mais pourquoi on le trouve à un endroit où XXX ?
335	E : XXX <i>Une seiche</i>
336	P : Vous entendez la question de Louis ?
337	E (Louis) : Pourquoi on le trouve à un endroit où avant y'avait de l'eau ?
338	E : Parce que !
339	EEE : XXX
340	E (Louis) : Ben avant y'avait de l'eau ici ! Il vit dans l'eau encore XXX

341	E : Mais maîtresse, maîtresse
342	P : Bon, et pis toi ?
343	E (Jean) : Peut-être que... c'est peut-être qu'avant y'avait de l'eau ici, peut-être que l'escargot descend de l'ammonite, et alors comme on trouve beaucoup d'escargot ici, peut-être que heu ça, ça s'est métamorphosé en escargot pour résister à l'oxygène XXX pour s'adapter
344 (27')	E (Morgane) : Et en plus l'escargot il aime la pluie
345	P : L'escargot il aime la pluie, oui. Alors je voudrais que d'autres élèves justifient parce que//
346	E (Julie) : Mais par contre j'ai une autre question par rapport à ce qu'a dit Camille et Mélissa//
347	P : Oui
348	E (Julie) : Parce que Camille et Mélissa, elles ont déjà vu cet animal. Pis Axel il dit qu'il est bleu heu, elle c'est blanc XXX
349	E : Moi jaune
350	P : Bon ça on cherchera dans les livres, d'accord ?
351	E (Julie) : Mmm
352	P : Donc tu poses ta question et après tu ... Tu te justifies. //
353	E (Mélissa) : Non mais c'est//
354	P : Tu veux te justifier ?
355	E (Mélissa) : Oui
356	P : Alors, vas-y, justifie toi !
357	E (Mélissa) : Ben moi je dis que comme les premiers, les premiers fossiles, comme la Terre était remplie d'eau ben p'tre que là aussi alors ils se sont adaptés à l'eau, la coquille ça servait à les protéger et comme après il y a pu d'eau, ils se sont peut-être adaptés... comme les escargots, enfin
358	E (Louis) : Ah oui comme les premiers êtres amphibiens
359	P : Mais il n'y a que des escargots sur la Terre ? Moi Je ne sais pas
360	EEE : Ca existe XXX
361	P : D'accord, d'accord
362 (28')	E (Lucile) : Il y a des escargots de mer et les escargots de mer ça se mange !
363	P : Oui d'accord. ...Bon, bon. Donc c'est tout comme justification, Mélissa ? ...Bon. Qui veut encore se justifier par rapport à son dessin ?
364	E (Axel) : Moi, j'y vais pas alors
365	P : Alyson ?
366	E (Alyson) : Moi j'ai dessiné ça parce que déjà, ça m'a fait pensé car déjà quand je l'ai regardé, y'avait des couleurs qui ressemblaient à l'escargot quand j'ai regardé comme ça
367	E : Bof
368	E (Alyson) : Si !
369	P : Mmm
370	E (Alyson) : Pis après quand j'lai regardé j'lai <i>retourné</i> plusieurs fois j'ai vu que ça faisait quelque chose de rond comme l'escargot pis heu... j'lai dessiné
371	P : Mmm
372	E (Louis) : Oui, MAIS Alyson, est-ce que t'as comparé... à une coquille d'escargot ?
373	E (Alyson) : Ben heu ...
374	E : Non
375 (29')	E (Morgane) : Mais moi ça, ce truc-là, ça ça aurait pu être une coquille d'escargot parce que heu une coquille d'escargot, c'est vachement fragile et là par là on a l'impression que ça tout était fendu heu, tout était écrasé
376	E (Louis) : Avec le temps j' pense que heu, il s'est passé différentes choses hein
377	E (Camille) : Pis aussi, l'escargot, leur coquille elle est beaucoup plus grande
378	EEE : Ah ben oui voilà XXX (<i>la maîtresse vient de déposer sur la table une coquille</i>)

	<i>d'escargot de Bourgogne de la collection de la classe)</i>
379	E (Morgane) : Oui mais aussi y'a des p'tits escargots et des grands escargots
380	E (Axel) : Si elle aurait été écrasée, à mon avis elle aurait cassée hein !
381	E (Morgane) : Ben justement c'est c'qu'j'dis
382	E (Mélissa) : XX Oui mais elle est vieille, elle se serait rétrécie à force
383	E (Louis) : P'tre que c'était pas pareil
384	E (Camille) : Comme les <i>papillons on les écrase</i> XXX
385	P : J'aimerais que ... J'aimerais bien qu'on regarde les enroulements que vous avez faits, comme ça.
386	E : Y'en a qu'en on fait XXX
387	P : Chut J'ai une idée, on pourrait presque prendre de la pâte à modeler à la maternelle et essayer de faire... ceci tel que vous l'avez fait et puis regarder si avec ça on peut arriver à faire la même chose ?
388	E (Louis) : Non non non j pense pas ...
389 (30')	E (Jean) : On aura plus de mal
390	E : Maîtresse, là
391	E : Là en plus c'est en volume
392	E : Et pis c'est collé
393	E (Florine) : C'est en grosse boule là
394	E (Louis) : C'est p'tre pas des escargots ? !
395	P : AaaaH ! Vous entendez ce que dit Louis. Ces fossiles ... Vous voudriez bien venir participer les deux là. Ces fossiles il nous dit ce ne sont peut-être pas des escargots
396	E (Louis) : J'ai quelque chose d'autre à dire
397	P : Oui
398	E (Louis) : Dès qu'Amélie et pis ... Amélie et Camille elles ont dit, c'était l'ancêtre de la tortue et de la crevette. Ben si ça c'était un bout, la tortue elle aurait une carapace ronde... arrondie et la crevette aussi... C'est peut-être des morceaux !
399	P : Peut-être
400	E (Louis) : Donc elle aurait une carapace ronde la tortue
401	E (Camille) : Ben regarde moi c'est des morceaux hein !
402	P : Alors qui est-ce qui a fait la tortue là ?
403	E (Louis) : Ca serait comme ça !
404	E (Camille) : Moi
405	P : C'est toi ! Alors est-ce que tu pourrais justifier ton dessin, Camille ? ...Justifie. Pour justifier tu peux le faire aussi (déplacement du fossile qu'elle détache de sa feuille)
406 (31')	E (Camille) : Là en fait on a des zigzags. Pis là on dirait que ça fait comme nous notre colonne vertébrale, ça fait comme ça et pis les traits ils partent de là
407	E (Simon) : XXX C'est trop petit pour être la tortue ça a des XXX
408	P : Laissez la justifier. Continue Camille.
409	E (Mélissa) : La tortue ça a des écailles, pas des traits
410	E (Morgane) : Oui mais c'est l'ancêtre !
411	E (Camille) : Donc c'est pas exactement pareil
412	EEE : XXX
413	E (Julie) : Parce que ça aurait pu être une petite tortue, comme chais plus qui c'est qui l'a dit. Ca serait peut-être un petit peu trop petit comme ça.
414	E (Camille) : Oui mais attends, y' des p'tites tortues aussi qui sont comme ça (<i>gestuel de taille évaluée</i>)
415	E (Julie) : Ben je sais, je sais
416	E : Ca aussi des bébés
417	E : Y'a aussi des tortues de mer
418	E (Mélissa) : Oui mais elles sont énormes

419	P : Pour toi, c'est quoi ce morceau alors par rapport à la tortue ? C'est quoi ?
420	E (Morgane) : C'est la carapace
421	E (Camille) : Non c'est heu ouais, ...ouais
422	P : C'est la ca... la coq... la carapace de la tortue si tu veux ou c'est un morceau ?
423	E (Camille) : Un morceau
424 (32')	P : Un morceau. Donc tu imaginerais, à partir de ça, comment la ... la ...la partie entière ?
425	E (Camille) : ?
426	E (Louis) : En demi-cercle
427	P : Oui, à partir de ça tu ferais comment ?
428	E (Simon) : Moi je pense que ça ressemble plus à la crevette parce que c'est plus enroulé on dirait
429	P : Toi tu penses qu'il y a un enroulement qui n'existe pas chez la tortue, c'est ça ?
430	E (Florine) : Ah oui, l'hippocampe, la queue de l'hippocampe !
431	P : L'hippocampe ?
432	E (Florine) : Non ça s peut pas sinon y'aurait le squelette
433	P : Alors Camille, si on voulait justement approuver ce qu'on fait les autres, ce que tu as fait aussi, comment on va faire maintenant ? Puisque tu dis que c'est la tortue. Comment on va faire ?
434	E (Camille) : Comment ça ? pour savoir ?
435	P : Oui
436 (33')	E (Amélie) : Pour moi parce que déjà l'ancêtre de la tortue c'était pas ça !
437	P : Ah bon, et c'était quoi Amélie ?
438	E (Amélie) : En fait c'était un gentil dinoozoo//
439	E : Dinsaure
440	E (Amélie) : Et pis au dessus ça a des écailles sur le dos comme ça
441	E : Ah oui des pics !
442	P : Toi tu penses que c'est ça l'ancêtre de la tortue ?
445	E (Amélie) : Parce que j'ai vu ça dans une émission
446	P : Tu as vu ça dans une émission. Oui
447	E (Florine) : Mais il peut y' avoir l'évolution, ça a p'tre, ça a peut-être changé. Parce qu'entre temps heu y'a des choses, y'a des choses qui évoluent
448	EEE : XXX
449	P : Bon alors ! Oui Mélissa.... Hé, Franck !
450	E (Mélissa) : Le truc de Camille, ça ressemble surtout à celui-là.
451	P : Le truc de quoi tu dis ?
452	E (Mélissa) : Le truc de Camille, ça ressemble à celui-là.
453	P : Et pourquoi ça ressemble ?
454	E (Mélissa) : Parce que si on le met à côté...
455	P : Oui...
456	E (Mélissa) : Ca a la même colonne là, ça a les mêmes traits, donc en plus c'est enroulé
457	P : Montre-lui à Camille
458	E (Morgane) : Sauf que c'est pas de la même couleur
459	E : Oh mais la couleur heu...
460 (34')	P : On a un peu de mal quand on n'a qu'un morceau pour savoir ce qu'on va en faire, il est vrai. Mais quand on a quelque chose qui semble être un peu plus entier dirons nous. On peut comparer le morceau à cette chose là. C'est ce qu'elle vient de faire Mélissa, très bien Mélissa
461	E (Camille) : Si on en a un entier comme XXX on devrait avoir des traces
462	P : Non non Franck ! je n'entends pas ce que dit Camille ! Chut s'il te plaît !
463	E (Camille) : Heu Normalement si on en a un entier on devrait voir des traces, parfois XXX comme les oiseaux avant ils avaient des dents, ils avaient quatre ailes et parfois on voit encore //

464	P : Ils avaient quatre ailes ?
465	E (Camille) : Oui, enfin il paraît
466	P : Ah bon !? Mais ... Ecoutez ce que dit Camille. On devrait voir des choses, Chut On devrait voir des choses, tu me parles des ailes, etc, des choses qui sont comment, dures, molles, je voudrais savoir...
467	E (Camille) : Ben plutôt du duvet... Mais comment ça ?
468	P : Si on retrouve ces choses là justement, est-ce qu'on va retrouver des morceaux tout mous ?
469	EE : Non
470 (35')	P : Alors pour cet animal, j'y reviens à cet animal. Regardez un petit peu les dessins faits par les autres. Ils ont fait des choses au bout. Ces choses là vous les avez imaginées, on les retrouve pas là actuellement !
471	E : Non
472	P : Et pour quelles raisons ?
473	E (Mélissa) : Parce qu'en fait elles se sont décomposées
474	E : Ou elles se sont faites mangées par les autres ...
475	E ; Oui mais par contre//
476	P : Effectivement on ne les retrouve pas. Et quand tu me dis que moi j'imagine des pattes. Est-ce que tu penses qu'une tortue actuellement qui meurt, est-ce que tu vas retrouver quelque chose des pattes mais quoi ?
477	E : Des os
478	E (Jean) : XXX
479	P : Alors cet animal, si on continue le travail que fait que fait le scientifique, si on ne retrouve pas toutes ces parties là et bien on peut imaginer comme l'a dit Mélissa que c'étaient des parties molles, et que... elles ont disparues ; On retrouve quoi, la partie comment maintenant ?
480	E : Dure
481	P : La partie dure, qui s'est peut-être transformée au cours du temps... Oui on y va c'est l'heure.
482 (36')	E (Camille) : Parce que là j'ai fait des traits mais on les voyait p'tre pas, si ils se sont décomposés, ils ont perdu toute leur peau, toute leur ... tout ça
483	E (Morgane, Julie) : Maîtresse
484	P : Oui. ... c'est l'heure les enfants
485	E (Morgane) : Mais ça c'est pas grave. Mais aussi parce que pour moi ça veut un peu rien dire les ancêtres et tout ça. Parce que Il peut y avoir des trucs très très différents. Parce que par exemple l'ancêtre du dauphin, il ressemblait pas du tout, il avait des pattes et tout
486	E (Mélissa) : Si il lui ressemble ! Oui mais eux c'est des mammifères
487	P : On y reviendra. On est pas capable actuellement nous...Morgane. On va chercher dans les livres, on va rester là autour, on ne va pas se disperser d'autant plus que c'est l'heure. Donc On finit par les trois questions qui restent. Vas-y.
488 (37')	E (Julie) : Mais par contre, quand on a travaillé sur les fossiles et tout, moi j'ai quand même encore une question. Donc heu par rapport à ce qui ont fait les autres. Mais ça par rapport à ...par exemple Florine, elle a dit que c'était un escargot. Par contre les escargots c'est plutôt heu, c'est pas aussi plat que ça.
489	P : Pour celui-ci. On verra par rapport à d'autres escargots parce que ça c'est un escargot de terre
490	E (Julie) : Je me demande comment parce que là ça... Mais là c'est plus profond, c'est de plus en plus profond
491	P : Donc d'après toi la coquille ne ressemble pas exactement. Donc c'est pas forcément un escargot... Non mais tu vois bien Morgane, moi je veux bien là c'est l'heure (élève déçue de lever la main et de ne pas être interrogée)
492	E (Mathias) : Mais maîtresse ! Quand Timothée, là il a marqué « sorte d'escargot ». Mais moi je vois pas du tout le rapport entre cet escargot là et ça !

493	P : On va chercher dans les livres
494	E (Morgane) : Et ben justement « une sorte », ça veut dire que c'est pas exactement !
495	E : On ne sait pas pourquoi. On s'est pas beaucoup avancé finalement
496	E (Mélissa) : Moi j'ai vu en fait quand des choses qui sont fossilisées et qu'on sait pas la couleur qui z'avaient
497	E (Simon) : Ca dépend, le milieu. Ca dépend, le milieu !
498	E (Mélissa) : Oui, ça dépend, le milieu. Et desfois on a retrouvé la peau d'un dinosaure, un arbre fossilisé, on a retrouvé des écailles de poissons et on sait pas exactement la couleur et y'avait à peine, un tout petit peu de couleur
499	E (Louis): Mais ça dépend où ils sont. Si il était dans l'eau, dans le sable
500	P : Vous allez sortir très rapidement (<i>ramassage scolaire impératif à midi en zone rurale</i>)

TRACE ECRITE COLLECTIVE

- ils sont en forme de spirales
- Entiers – morceaux
- Striés- lisses- craquelés-
- (en fonction de l'âge ?)
- Ils ont des trous (certains)
- Ils ont des tailles différentes
- Espèces ?
- Où vivaient-ils ? dans la mer ?

Ancêtre ?

- tortue – crevette
- calamar
- escargot - limace

ANNEXE 31

**MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE DE
LA CLASSE DE CM2 / OBSTACLE ANALOGISTE
(formulations d'élèves, occurrences 260 à 395 et 488 à 500)**

Légende



Problème d'ancêtre / filiation



Problème de ressemblance / parenté



Problème du milieu de vie

Q = **question**

R = réponse ou argument

O = **objection ou contre-argument**

-bis = complément de réponse, de question ou d'objection

→ QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question

→ RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question

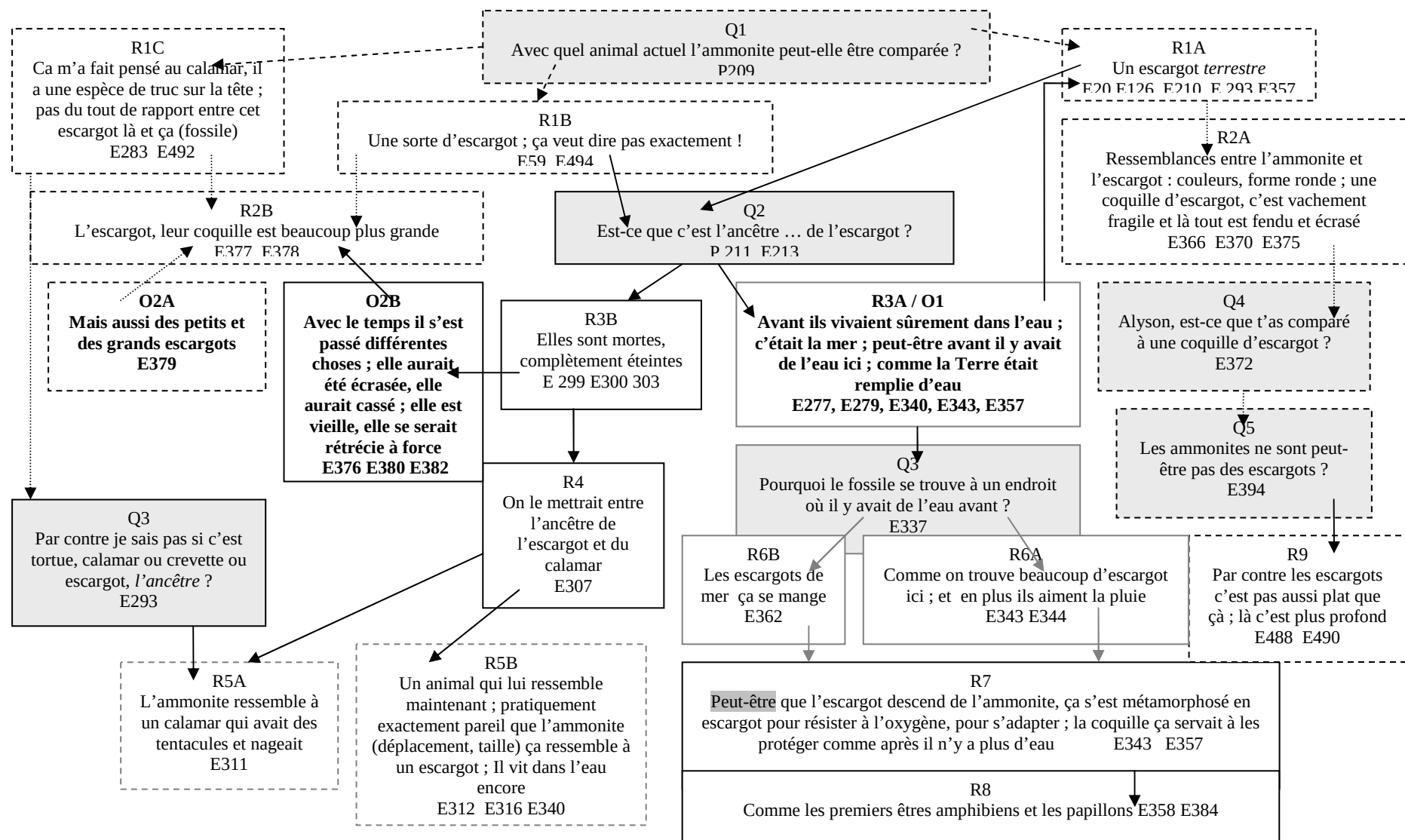
← RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 30)

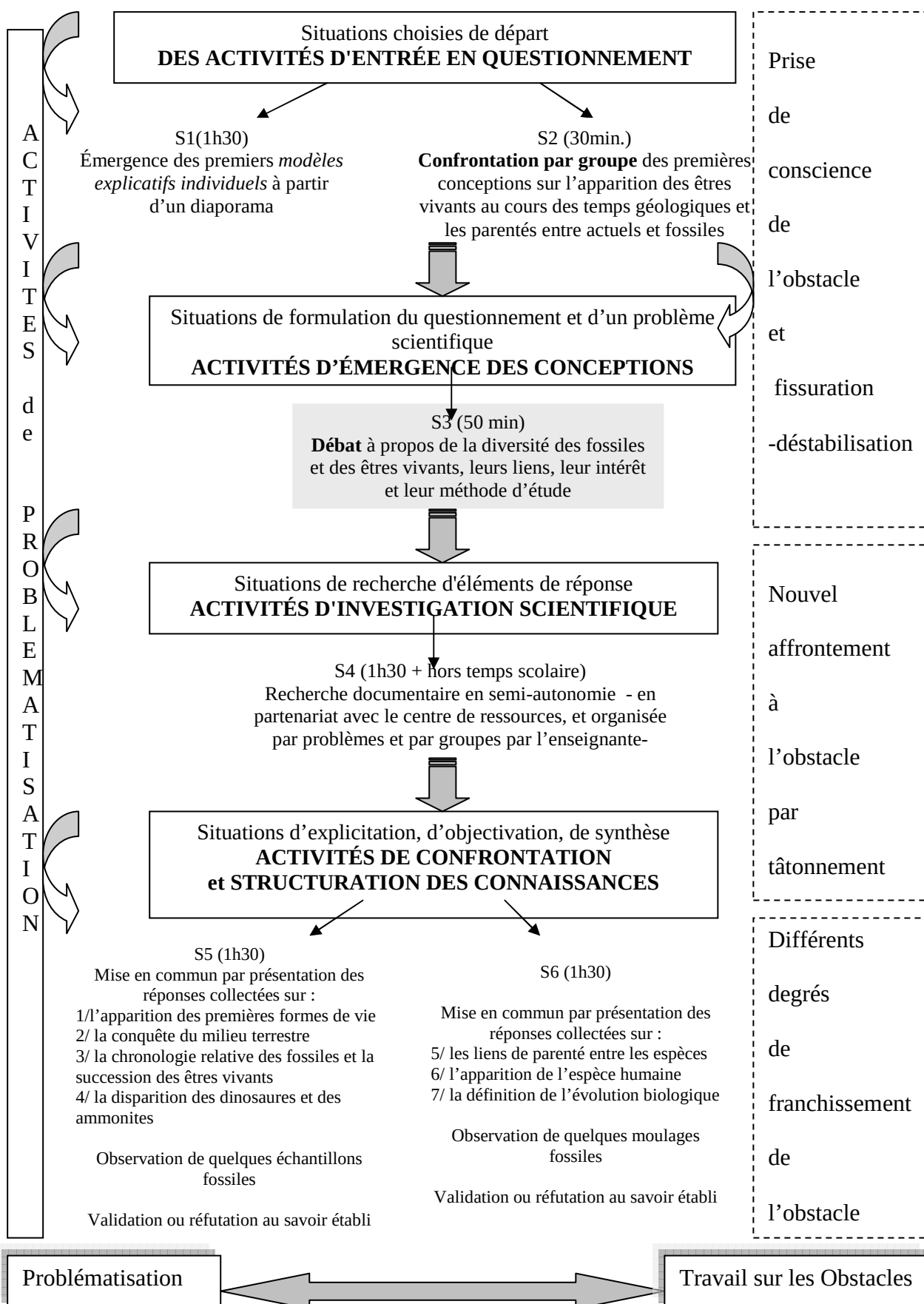
(P) : occurrence professeur

-les bifurcations dichotomiques = diverses solutions de réponses à la même question

-les flèches horizontales ou verticales = inférence unique



**Projet de classe et situation de débat en 4^{ème} sur l'histoire
des vivants sur Terre**



ANNEXE 33

**QUESTIONNAIRE D'ÉMERGENCE DES CONCEPTIONS
INITIALES D'ÉLÈVES DE 4^{ème} DE COLLÈGE
SUR L'HISTOIRE DE LA VIE SUR TERRE
(Diaporama)**

1° Problème :

Comment l'étude des fossiles a-t-elle pu conduire à l'idée d'évolution des espèces ?

Aide : Tu peux associer des dessins, des schémas à ton texte explicatif-a) Donne des exemples de fossiles en rappelant ce qu'est un fossile pour toi.

-b) Où et comment se sont-ils formés ?

-c) Quels sont les indices fournis par les fossiles ?

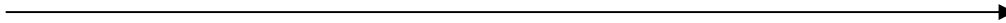
-d) Pour toi, que signifie évolution ?

2° Problème :

Quelle histoire de la vie peut être construite sur la ligne du temps ?



**Formation
de la Terre**



**Aujourd'hui
2005**

Aide : Tu placeras sur cette ligne, les dix espèces différentes présentées en image et par ordre alphabétique.

Par ordre alphabétique :

AL : algue

CR : crocodile

ET : étoile de mer

HO : homme préhistorique

MA : mammoth

ME : méduse

PA: papillon

PI : pin

RE : requin

Aide : tyrannosaure

a/ Pour chaque espèce, tu placeras une croix sur la ligne du temps avec les deux lettres correspondantes à l'espèce placée. Tu ordonneras ainsi ces espèces dans l'histoire de la vie en fonction du temps.

b/ Justifie par une seule phrase la ou les logiques de ton placement.

c/ Comment les fossiles ont-ils pu aider les scientifiques à construire cette histoire de la vie sur Terre ?

d/ Pour toi y a-t-il d'autres indices que les fossiles pour construire l'histoire de la vie sur Terre ?

3° problème :

Quel serait l'ancêtre de la girafe ?

Je vais te montrer maintenant cinq images d'animaux. L'une d'elles est une image du véritable ancêtre de la girafe actuelle. Regarde attentivement ces photos.

Choisis celle que tu penses être le véritable ancêtre de la girafe actuelle.

Aide : L'ancêtre de la girafe serait ...

- Une girafe plus petite ?
- Une girafe plus grande ?
- Une girafe à petit cou ?
- Une girafe à pattes courtes ?
- Un animal ressemblant au cerf ?

Justifie ton choix au moins par deux arguments.

4° problème :

Comment représenter l'idée d'évolution ?

Aujourd'hui

1

2

3

4

5

Aide :
2005

a) Cite entre trois et cinq animaux qui vivent aujourd'hui.

b) Quels sont leurs ancêtres ou leurs plus proches parents anciens ?

c) Construit un schéma avec des flèches pour relier les différents noms cités.

Traduits par une légende ce que signifie chaque flèche.

Remonte le plus loin possible dans le passé en montrant sur ton schéma les espèces ancestrales successives que tu connais ou que tu imagines, jusqu'à ce que tu ne puisses plus nommer d'ancêtres plus éloignés.

d) Place l'homme d'aujourd'hui dans ton schéma.



**Formation
de la Terre**

ANNEXE 34

**PRODUCTIONS D'ÉLÈVES de 4^{ème} SUR LA SUCCESSION DE DIX ÊTRES VIVANTS POSITIONNÉS SUR UNE
FLÈCHE DU TEMPS - CONCEPTIONS INITIALES SUR L'HISTOIRE DE LA VIE SUR TERRE**
(15 élèves référencés dans le texte)

Réponses de MINA au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G1

(N) Mina

8 problème

* formation de la terre

TY MA PI AL RE HO ET CR ME PA PI

b) TY = je l'ai mit là car j'ai appris qu'il n'existait plus depuis très très longtemps.
 MA = pareil que pour le tyranosaure.
 AL = Algue est aussi depuis très longtemps dans la mer et je pense c'est l'une des plus vieille plante sous-marine.
 RE = le requin, je pense existait avant l'homme, car l'homme chassait le requin.
 HO = c'est de l'apprentissage et je sais qu'il est apparu après les dinosaures, mamouth et les requins.
 ET = comme pour algue, je pense qu'elle est très vieille mais pas autant que l'homme.
 CR = le crocodile, je pense existe depuis très longtemps car c'était l'un des ennemis de l'homme.

ME = Je pense que la méduse n'est pas aussi vieille que l'homme.
 PA = le papillon, c'est pareil que pour la méduse.
 Et enfin le PI = pour que les êtres vivants vivent sur terre, il fallait de l'air et la nature produit l'air.

c) Les fossiles peuvent rester constitués des millions d'années et en l'ai analysant, je pense, ils ont découvert la vie qu'il a eu sur la terre.

d) Pour moi, je pense que si les fossiles n'existaient pas qu'on ~~en~~ connaîtrait autant de choses de tous savoirs. Il existe peut être d'autres indices mais je ne l'ai connaît pas (la nature peut être...).

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

TY : je l'ai mit là car j'ai appris qu'il n'existait plus depuis très très longtemps

MA : pareil que pour le tyranosaure

AL : Algue est aussi depuis très longtemps dans la mer et je pense c'est l'une des plus vieille plante sous marine

RE : le requin, je pense existait avant l'homme, car l'homme

chassait le requin HO : c'est de l'apprentissage et je sais qu'il est apparu après les dinosaures, mamouth et les requins

ET : comme pour l'algue, je pense qu'elle est très vieille mais pas autant que l'homme

CR : le crocodile, je pense existe depuis très longtemps car c'était l'un des ennemis de l'homme

ME : Je pense que la méduse n'est pas aussi vieille que l'homme

PA : le papillon, c'est pareil que pour la méduse

Et enfin le PI : pour que les êtres vivants vivent sur terre, il fallait de l'air et la nature produit l'air

Réponses de SYLVAIN au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G1

2^{ème} Problème

(R) Sylvain



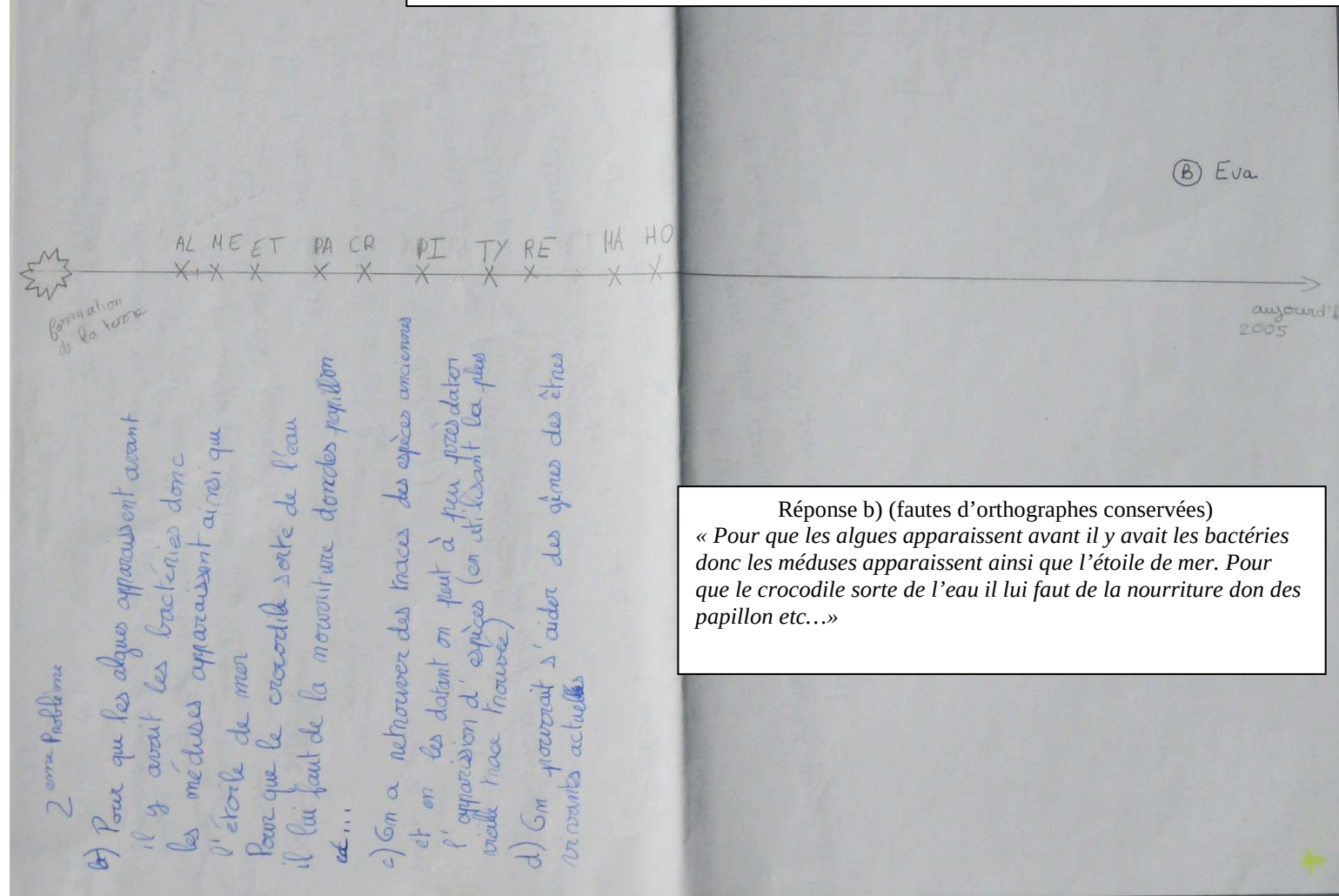
b) J'ai commencé par les animaux marins car c'est les premier à être apparu puis les dinosaures et les hommes et ensuite ce qui me semblait plus récent.

c) On voit dans les roches si les fossiles sont plus ou moins récent on peut donc dire lequel est apparu en premier.

d) On peut peut-être déterminer l'histoire de la vie grâce à l'âge des os.

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)
« J'ai commencé par les animaux marins car c'est les premier à être apparu puis les dinosaures et les hommes et ensuite ce qui me semblait plus récent »

Réponses d'ÉVA au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G1



2^o Problème.

(F) Kevin

Réponses de KEVIN au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G1

Formation de la terre

AL PI Ty MA HO Me RE CR ET PA

Aujourd'hui 2005

6) L'homme est apparu après le tyranosaure car il y a eu un fort tremblement de terre et les dynosaures en sont morts l'homme est apparu après, c'est pour ça qu'il est toujours en vie.

c) Les fossiles ont pu aider les scientifiques à construire cette histoire de la vie sur terre car ?

d) Oui, il y a d'autres indices que les fossiles pour construire l'histoire de la vie sur terre ? Il y a les restes d'ossements d'animaux.

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

« L'homme est apparu après le tyranosaure car il y a eu un fort tremblement de terre et les dynosaures en sont morts l'homme est apparu après. C'est pour ça qu'il est toujours en vie. »

Réponses de FLAVIEN au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G2

⊕ Flavien

2^o problème.

- b) Je sais que certaines espèces sont apparues avant d'autre et que d'autre sont encore en vie, donc apparues après celles disparues.
- c) Les fossiles ont pu aider à construire l'histoire de la vie sur terre car certaines espèces d'animaux ont disparues et les chercheurs les ont retrouvées fossilisées ce qui prouve qu'ils ont existés.
- d) Oui il y a d'autre indices pour construire l'histoire de la ~~vie~~ vie sur terre: les traces sur la terre. l'observation de la nature et l'histoire pour voir si il y a eu des modifications dans l'environnement.

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

« Je sais que certaines espèces sont apparues avant d'autre et que d'autre sont encore en vie, donc apparues après celles disparues »

Réponses de MAXIME Br. au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G2

1^{er} Problème :

Formation de la Terre

AL PI TY MA HO PA CR ET CE ME RE ET PA Aujourd'hui 2005

b) Je les aient placée par les végétaux (Algue, pin); 2^o Histoire des dinosaures, les Hommes préhistoriques ont aparu apres les animaux préhistoriques et enfin les animaux decouvert il n'y a pas longtemps.

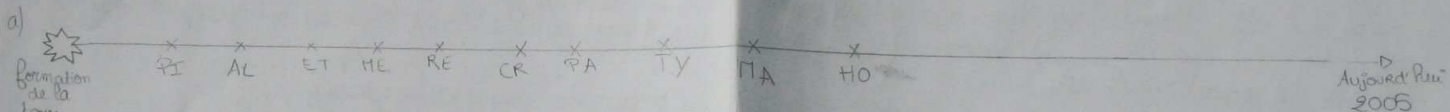
c) Les fossiles retrouvés d'espece et de squelettes de dinosaure ont peut prouver qu'avant l'apparition des Hommes la vegetation et d'autre fossile nous ont indiqué que la terre était déjà habité avant que nous apparissions.

d) La végétation peut nous indiquer, la vieillesse des os de dinosaure et de fossile.

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)
 « Je les aient placé par les végétaux (algue, pin) ; 2^o Histoire des dinosaures, les Hommes préhistoriques ont aparu apres les animaux préhistoriques et enfin les animaux decouvert il n'y a pas longtemps»

Réponses de LUCIE au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G2Lucie 4^{ème}

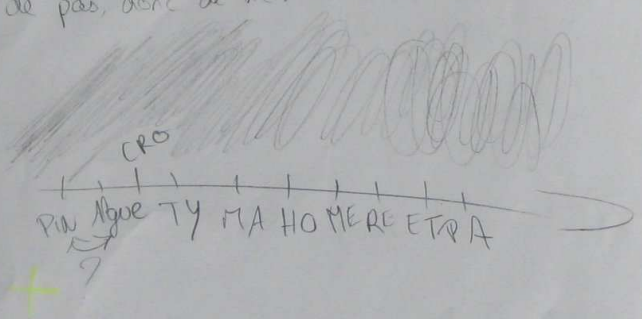
2^{ème} Problème

a) 

b) J'ai mis le pin en premier avec l'algue, car je pense que la flore sont apparus en premier sur la terre après l'eau, puis j'ai mis les animaux d'eau puis l'apparition des animaux vivant pas dans l'eau, j'ai mis le tyrannosaure avant le mamouth mais je ne sais pas pour quoi, j'imagine mieux les dinosaures avant les mamouths et bien sûr l'homme en dernier.

c) Les scientifiques se sont aidé des fossiles, pour construire l'histoire de la vie sur la terre en regardant comment ils étaient formés, d'après de la ou l'on a trouver le fossile ; comment ils vivaient et comment ils se comportaient.

d) Bien sûr que l'on peut trouver des indices, par exemple, les dessins que les hommes préhistoriques faisaient montraient qu'il existait des mamouths puisqu'ils les chassaient. Et puis, plus rare aussi, des traces d'habitation, de pas, donc de vie.



Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

« J'ai mis le pin en premier avec l'algue, car je pense que la flore sont apparus en premier sur la terre après l'eau, puis j'ai mis les animaux d'eau puis l'apparition des animaux ne vivant pas dans l'eau, j'ai mis le tyrannosaure avant le mamouth mais je ne sais pas pourquoi, j'imagine mieux les dinosaures avant les mamouths et bien sûr l'homme en dernier.

(A) Anne

Réponses d'ANNE au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G2

Journal de la Terre

aujourd'hui 2005

même époque

b) Les tyrannososre et d'autres dinausores ont apparus quelques années après la formation de la Terre ; puis une comète entra en contact avec la Terre et toutes ces espèces qui y vivaient furent détruites ; les hommes, et les autres espèces apparurent à leur tour, peu de temps après que la comète soit entrée en colision avec la Terre.

c) Le type de croissant des brues étaient déformées.

d) Les autres brues étaient à la dérive (en l'air).
L'ADN de sang qu'ils ont pour encore n'était pas de même nature.

2^o problème :

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

« Les tyrannososre et d'autres dinausores ont apparus quelques années après la formation de la Terre ; puis une comète entra en contact avec la Terre et toutes ces espèces qui y vivaient furent détruites ; les hommes, et les autres espèces apparurent à leur tour, peu de temps après que la comète soit entrée en colision avec la Terre. »

Réponses de MAXIME Ba. au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G3

① Maxime Ba.

20/

b/ je sais que les être vivant végétal sont apparus avant les être vivant animaux, donc j'ai placé les être vivant végétal végétal avant les être vivant animaux. Je sais aussi que la vie s'est développée d'abord dans l'eau puis sur terre, j'ai donc placé les algues avant les pin. Je sais aussi que les homme préhistorique chassait le mamouth, donc le mamouth est apparu avant les homme. Je sais aussi que le tyranosaur vivait avant les homme, mais après méduse, et que les insecte se sont développés à l'époque des dinosaures. la méduse, l'étoile de mer, le requin

c/ j'ai déjà mis au verbe

d/ oui, par exemple : LES MÉTÉORITE.

car on pense que l'extinction des dinosaure est due à une météorite qui aurait eu pour conséquence de masquer le soleil, donc si on retrouve un cratère ancien qui a une dimension très grande (suffisamment pour que les débris projetés par l'impact de la météorite masque le soleil) on pourra dans ce cas affirmer que les dinosaure se sont éteints à la suite du météorite

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

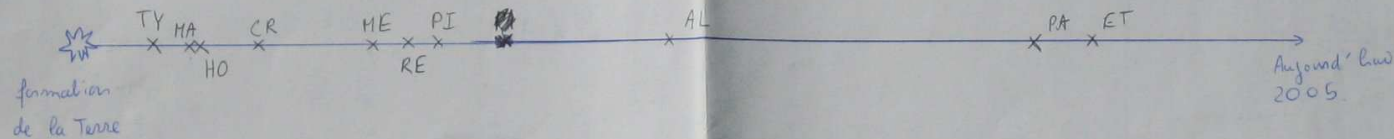
« je sais que les êtres vivants végétaux sont apparus avant les être vivant animaux, donc j'ai placé les être vivant végétal avant les être vivant animaux. Je sais aussi que la vie s'est développée d'abord dans l'eau puis sur terre, j'ai donc placé les algues avant le pin. Je sais aussi que les homme préhistorique chassait le mamouth, donc le mamouth est apparu avant les méduse, et que les insecte se sont développés à l'époque des dinosaures. La méduse, la méduse, l'étoile de mer, le requin »

Réponses de CLAUDE au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G3

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

« je n'ai pas eu la même logique pour tous placé, pour ce dont j'étais à peu près sûr, je les aient mis là où je pensais que c'était ben (en fonction du tp de vie (là où ils ont vécu)), et pour d'autre, je les aient placé là où je pense que c'est à ce moment là que l'homme a découvert ces espèces »

© Claude



b) Je n'ai pas eu la même logique pour tous placé, pour ce dont j'étais à peu près sûr, je les aient mis là où je pensais que c'était ben (en fonction du tp de vie (là où ils ont vécu)), et pour d'autre, je les aient placé là où je pense que c'est à ce moment là que l'homme a découvert ces espèces.

c) des fossiles ont peut aider les scientifiques à définir à peu près quand existait une espèce, il suffit de trouver à peu près à quel âge s'est formé ce fossile, ça peut nous donner une idée de l'emplacement de cette espèce dans l'histoire de la vie.

d) Je pense que oui, on peut en trouver dans l'anatomie d'une espèce, ^(en la comparant) ou encore dans des documents historique où des gens témoigneraient avoir connu et vu une espèce jamais vue jusqu'à lors.

Réponses de ALINE P. au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G3

2^e PROBLEME ① Aline P.

a)

b) Au début, ce sont des espèces qui vivent en mer car il n'y avait que de l'eau sur Terre. Ensuite les dinosaures, puis la préhistoire.

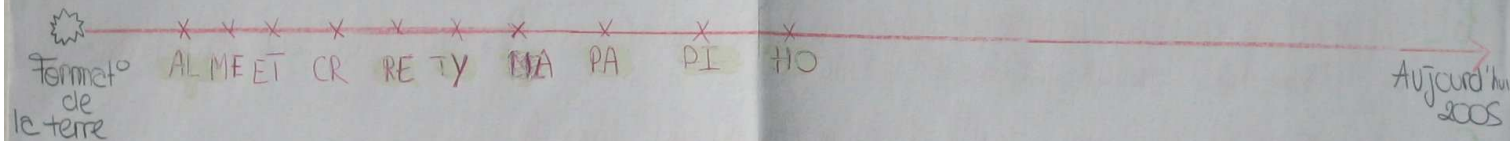
c) On compare l'état des fossiles pour savoir lequel est le plus vieux.

d) Oui il y a les ossements (dinosaures, hommes préhistoriques...)

Réponses de SONIA au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G4

(K) Sonia

a-



b- L'eau et ses habitants sont apparus puis les animaux terrestres et enfin l'homme

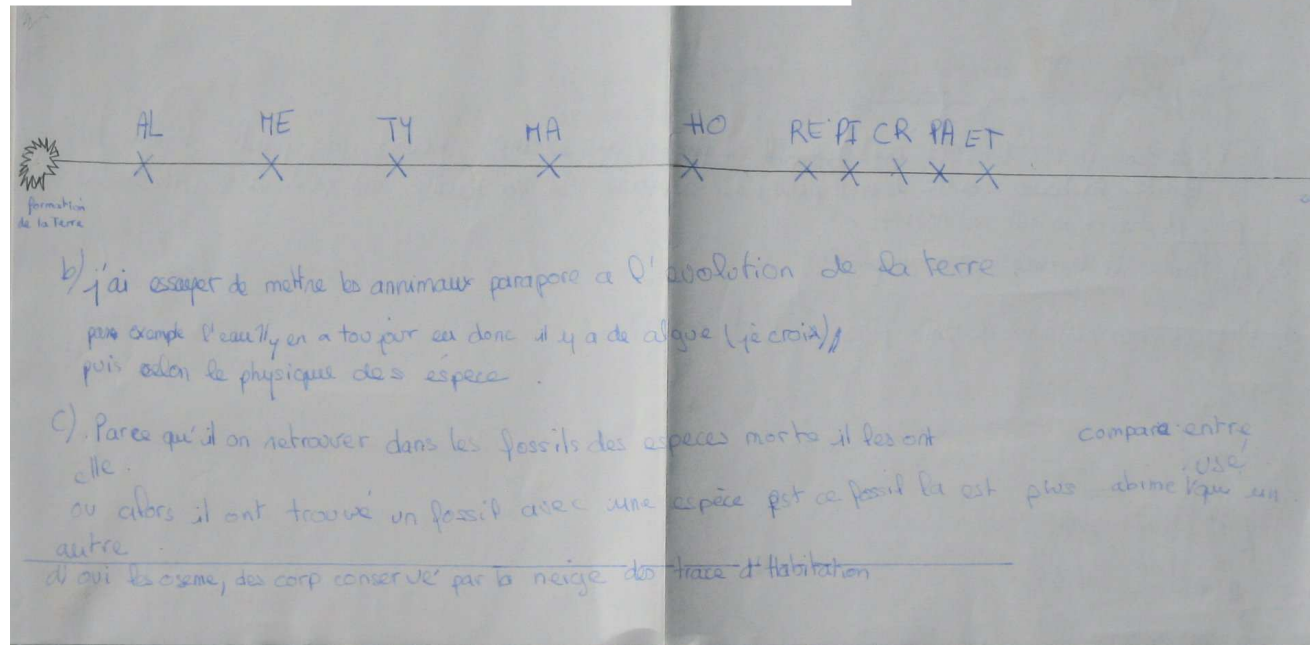
c- Plus les fossiles étaient vieux plus c'était la même espèce et un si de suite. Il ont retrouvé les fossiles marins puis terrestres puis des hommes...

d- Non. qu'avec les fossiles et les ossements.

Réponses de ALINE M. au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G5



Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)
 « j'ai essayer de mettre les animaux paropore a l'evolution de la terre
 Par exemple l'eau il y en a toujours eu donc il y a de algue (je croix)
 Puis selon le physique des espece »



Réponses de SOPHIE au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G5

2^o Problème

(H) Sophie

a)

Formation de la terre

beaucoup de temps

AL PI ME ET TV MA HO ET CR PA RE

2005
Aujourd'hui

b) Je pense que les végétaux se sont formés en 1^{er}, puis les dinosaures, puis les hommes, et les animaux en dernier la faune sous marine.

c) Les fossiles ont peut être permis grâce à leur caractéristiques de montrer l'environnement, le climat, l'alimentation qu'il y avait. Les autres prédateurs (série) 

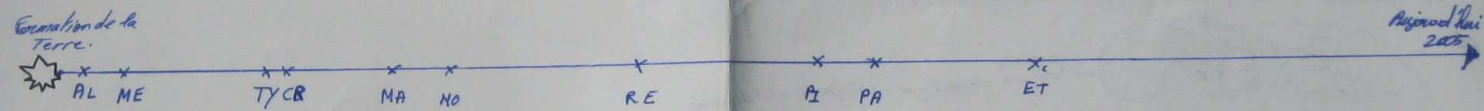
d) Je pense que grâce aux végétaux, au sol, les scientifiques ont pu un peu contraindre l'histoire de la vie

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

« Je pense que les végétaux se sont formés en 1^{er}, la faune sous marine, les dinosaures puis les hommes et les « animaux » en dernier »

Réponses d'HÉLÈNE au problème d'une mise en histoire des vivants sur Terre - 4^{ème} G52^o Problème

② Hélène



- b) La création des êtres vivants à commencer par le monde aquatique puis le monde terrestre qui évoluera aussi.
- c) Car les fossiles ont conservé le squelette donc la structure d'un animal d'une espèce et au fil du temps les animaux ont besoin de tout - me poids pour la chaleur ou à besoin de dent moins coupante parce qu'il mange moins de chose dure et difficile à couper.
- d) Oui, car des squelettes de dinosaures ont été retrouvés intacts donc la structure de cette être et non indice de plus pour les scientifiques.

Réponse b) (fautes d'orthographe conservées)

« La création des êtres vivants à commencer par le monde aquatique puis le monde terrestre qui évoluera aussi. »

ANNEXE 35

TRANSCRIPTION DE LA SÉANCE DE DÉBAT EN CLASSE DE 4ème

Collège de Pouilley-les Vignes - Classe d'A. Marle - 21 élèves

Séance N°3 (86 minutes/ 35 min travail en groupe + 51 minutes débat) du 3 mai 2005 (Cf. Organigramme de séquence Annexe N°32)

Séance de débat à partir des questions formulées par les élèves dans le travail des groupes à propos de la mise en histoire des êtres vivants sur Terre.

Légende de la transcription

- E= élève et **P = professeur**
- (nombre) : numéro d'occurrence (apparition d'une unité linguistique dans le discours)
- (nombre') : temps écoulé de la situation-débat
- // : couper la parole
- *en italique ou XXX* : à peine audible ou inaudible
- ... : silence

Consigne avant le travail par groupes (10 min)

P : C'est vous qui posez des questions aujourd'hui, ce n'est pas le professeur. Ca change un peu

E : C'est dur de trouver des questions madame !

P : D'habitude vous me dites c'est dur de trouver des réponses. Aujourd'hui c'est l'inverse ! Donc que ce soit des questions ou des réponses, c'est dur les sciences.

► Les groupes ont été faits en fonctions des idées différentes des élèves. Vous retrouverez vos feuilles de la semaine dernière qui sont déjà installées sur les tables. Pour les groupes 1 et 2 c'est le problème des vivants sur la ligne du temps vu la semaine dernière. Et pour les groupes 3, 4, 5 ce sont les ancêtres imaginés d'un vivant actuel, les arbres d'évolution.

► Dans le groupe il faut lire les schémas et les explications des autres du groupe. Repérez bien les différentes logiques, les désaccords et les points communs, les similitudes. Ou Chaque élève présente aux autres sa propre production c'est-à-dire la réponse donnée la semaine précédente à la question que nous vous avions posée. Chacun peut ou doit défendre sa réponse, donner ses raisons. Attention ! « je sais que, on m'a dit que, j'ai vu que », c'est différent de « j'argumente, je défends, je raisonne » car l'objectif est de retrouver les raisons des scientifiques. Le problème 2, pourquoi j'ai placé ces animaux-là, avant ou après ceux-là Pour le problème 4, pourquoi j'ai placé mes flèches comme ça, dans ce sens là, entre ces animaux là. Chacun peut ou doit aussi contre-argumenter ce que proposent les autres, c'est à dire, précisez pourquoi il n'est pas d'accord. Donc vous regardez si vous êtes d'accord ou pas d'accord mais en justifiant, vous donnez des raisons, des arguments, si des affirmations demandent à être vérifiées vous donnez des hypothèses, il faut tout ça pour résoudre un problème. Est-ce que vous serez d'accord ou non, selon ...

► Vous élaborez ensemble une liste de questions ou d'hypothèses que vous retenez dans votre groupe pour résoudre ce schéma, vous écrirez les nouvelles questions pour lesquelles vous voudriez en savoir plus.

► Puis vous en choisissez une, et vous venez la proposer à toute la classe afin que chacun puisse réagir et donner son avis, ses arguments. Il faudrait choisir une des questions qui vous préoccupent le plus, celles où vous avez envie d'avoir des réponses, qui vous intéressent le plus à résoudre

Le travail par groupe a duré 25 minutes

La transcription principale suivante est découpée en cinq phases, correspondant chacune à la question choisie par chaque groupe d'élèves ayant réfléchi sur l'histoire des êtres vivants sur Terre.

QUESTION Groupe 1

1	(1')	P : Alors le groupe 1, il se pose comme question, qui leur tient à cœur, c'est : est-ce que le papillon est apparu en dernier sur la frise du temps à cause de sa complexité ou est-il apparu dans les premiers êtres vivants sur Terre parce qu'il servait de nourriture ? ... Alors qu'est-ce que vous en pensez ?
2		E (Sonia) : Faut donner ce qu'on pense comme réponse ?
3		P : Ben ceux qui ont peut-être trouvé la, ceux qui ont peut-être donné la question peuvent peut-être dire pourquoi ils sont arrivés à cette question ou bien s'il y en a d'autres qui veulent réagir tout de suite comme Sonia, et bien vous réagissez tout de suite.
4		E (Sonia) : Non mais heu... moi je dis : en premier !
5		E : Oh ben elle donne la réponse !
6		P : Alors vas-y Sonia, qu'est-ce que tu dis en premier toi ?
7		E (Sonia) : Ben le papillon, ...ben qu'il est arrivé en premier
8		P : Il est arrivé en premier ?
9		E (Sonia) : Mmh...enfin je pense
10		P : Alors pourquoi tu penses ça ?
11		E (Sonia) : Qu'il est apparu en premier parce que ben XXXX
12		P : Tourne toi bien vers eux pour qu'ils entendent
13		E : Non mais ils savent !
14		P : Non ils ne savent pas ! Pour qu'Elise entende là bas ou Sophie entende!
15	(2')	E (Sonia) : Parce que oui, vu que heu, enfin l'eau, heu la vie elle apparaît...
16		EEE : (rires)
17		P : On écoute les arguments de Sonia.
18		E (Sonia) : La vie elle est apparue avant dans l'eau. Sûrement c'était petit, qu'il y a peut-être des êtres, enfin je sais pas moi je dis ça <i>des petites bêtes</i>
19		EEE : (rires)
20		P : On va quand même reprendre ce que dit Sonia « Vu que la vie est apparue dans l'eau ». Elle dit « Vu que la vie est apparue dans l'eau »
21		E (Sonia) : Voilà ça a donné Peut-être que...peut-être que les êtres d'eau ils ont donné le papillon !
22		P : Mais c'est évident pour tout le monde « Vu que la vie est apparue dans l'eau » ? C'est évident...
23		E (Sonia) : Oui mais c'est moi qui pense ça hein !
24		E (Hélène) : Oui mais avec la composition qu'il y avait y'a avait on pouvait mettre d'abord les êtres aquatiques avant de mettre le papillon
25		E : Ben oui, ben oui c'est pour ça !
26		EEE : XXX
27	(3')	P : Simplement un petit rappel : il faut que tout le monde entende ce que dit chacun. Hein Ca sera très bien. Eva.
28		E (Eva) : Nous, on dit pas <i>que</i> le premiers mais <u>dans</u> les premiers, ça voudrait dire que ce serait pas le premier à être apparu. Pas forcément.
29		E : Voilà, au début XXX
30		E (Eva) : Sur Terre, c'est sur Terre
31		P : Dans les premiers, ça ne veut pas dire les premiers effectivement hein. ... Claude
32		E (Claude) : Enfin moi je pense que ça dépend comment on les classe. Si le papillon on le place en fonction du moment où il est apparu, comme je pense que c'est un des premiers êtres à être arrivé sur Terre enfin XXX. Je pense que si on classait selon quand est-ce qu'il a été découvert par l'homme, ça serait après. Si c'est quand il est arrivé sur

	Terre, ça serait plus avant, pis dès que si on classait dès qu'on aurait commencé à l'étudier ce serait plus loin encore.
33	EEE : (<i>rires</i>)
34	P : Posez des questions à Claude. Posez des questions si vous n'avez pas compris ...Si il a dit des choses intéressantes Claude. ... Il dit que ça dépend de quoi finalement sur cet axe des temps ?
35	E : De l'homme
36	E (Alexandre) : De nous !
37	P : Ca dépend... Alexandre, ça dépend de... ?
38	E (Alexandre) : De nous.
39	P : Ca dépend de nous dit Alexandre, en fait
40	E (Hélène): Quand on l'a découvert, ça dépend quand on l'a découvert
41	E (Aurélié) : Ben non parce qu'on n'a pas découvert les dinosaures
42	E (Hélène) : Oui mais on a découvert les squelettes donc XXX
43	EEE : XXX
44	P : Doucement, doucement qu'on entende tout, qu'on entende tout. Vas-y Hélène redis Hélène ce que tu as dit...
45	E (Hélène) : ...Ben on peut
46	P : Ah, il faut se rappeler
47	E (Hélène) : Ah oui ah ben on a retrouvé des squelettes, donc on peut savoir à peu près à quelles époques ils étaient tous là mais bon
48 (4')	P : Alors est-ce qu'avec un squelette on peut trouver à quelle époque il vivait ? ... Alexandre.
49	E (Alexandre) : Ben ça nous donne une idée.
50	E : Et si c'est une fausse idée ?
51	E (Claude) : Y'a longtemps, enfin on suppose que c'était y'a longtemps XXX enfin on suppose en les analysant
52	P : En les analysant. Maxime qui avait levé la main. En les analysant
53	E (Maxime) : Si ils sont vieux ça dépend du milieu si il est protégé XXX les scientifiques ils leur XXX donc
54	P : Maxime, il dit Maxime, ce n'est pas parce que il dit ce n'est pas parce qu'un fossile, il peut être vieux mais il peut ne pas être très bien conservé... bien qu'il soit heu ... Il peut être jeune finalement et pas très bien conservé donc il ...Donc ça pose problème, ça pose problème ça.
55 (5')	E (Sonia) : Faut voir aussi avec les os qui trouve, avec les autres fossiles qui trouve, chais pas.
56	E (Laurine): Ce qu'il y a autour, ce qu'il y a à l'intérieur, avec la matière enfin qu'il y a dedans
57	E (Aurélié) : Il faudrait déjà savoir comment on fait pour ... Comment on fait pour dire que ça c'est le plus vieux et à partir de ça pour en déduire ? Je pense qu'ils ont commencé par trouver un animal ou un être plus vieux, et que ensuite que tout en découle donc ... Mais comment on a fait pour en dire que c'était celui-là le plus vieux ?
58	E (Maxime) : Ben parce que XXX
59	P : Parle à tout le monde Maxime, on n'entend pas... Parle à tout le monde hein. Je me suis assise ...Je vais changer de place parce que tu me parles. Allez, parle à tout le monde.
60	E (Maxime) : Y'a différents âges.
61	P : Aurélié, repose voir la question qu'elle a soulevée Aurélié. Mais comment, comment on peut dire que ce fossile était .. est le plus vieux...
62 (6')	E (Maxime) : On sait qu'y a eu un âge où il y a eu de l'eau.
63	P : Y'a eu un âge où il y a eu de l'eau.
64	E (Hélène) : <i>Oui mais</i> comment on sait qu'il y eu de l'eau ? Comment on sait au début qu'il y eu ça aquatique ?

65	E : Parce qu'il y a eu des fossiles
66	E : On a retrouvé des fossiles d'eau
67	P : Alors qui aide à trouver...
68	E (Maxime) : Parce que la Terre elle était pas pareille
69	E (Hélène) : Oui mais comment on la su ?
70	E (Maxime) : Ben heu c'est comme ça
71	E (Aurélié) : Et comment on a dit que heu avec les fossiles que c'est cette époque là qui est arrivée avant l'autre. C'est facile de retrouver des fossiles. Mais comment on les classe après ?
72	E (Maxime) : Ben justement à l'aide de l'évolution !
73	E (Laurine) : Ah ben si on part là dedans on va jamais finir ! Ben comment la Terre elle s'est créée aussi (<i>sous-entendu pendant que tu y es</i>). <i>On peut pas savoir ça !</i>
74	EEE : (<i>rires</i>)
75	E (Maxime) : Ben justement à l'aide de l'évolution, on sait que tout d'abord ça que la vie elle était dans l'eau, on sait que les êtres vivants ils avaient pas de pattes, on sait aussi que les êtres vivants végétaux sont arrivés//
76	P : Mais comment on sait Maxime ? Tu dis « on sait » sans arrêt.
77	E (Maxime) : Parce que dans l'eau ça sert à rien des pattes ! Quoi il faut avoir des nageoires.
78	E (Aurélié) : Oui mais comment tu le sais que <i>c'était dans l'eau</i> ?
79	E (Maxime) : Ben c'est les scientifiques, ils savent. Moi j'en sais rien
80	P : Ah oui, mais les scientifiques le savent. Il a bien fallu qu'ils le trouvent !
81	E (Maxime) : On sait faire ça
82 (7')	E (Claude) : Ben c'est une théorie
83	E (Hélène) : Si ça se trouve ils ont trouvé que des fossiles avec des animaux aquatiques
84	E (Maxime) : Ou ben alors ils ont XXX
85	E (Claude) : Sinon ils ont p'tre retrouvé les mêmes fossiles mais dans l'eau et pis d'autres XXX
86	P : Mais est-ce parce qu'on trouve un fossile dans l'eau, on va dire que l'animal est aquatique ?
87	E : Non il peut avoir des lieux différents
88	E (Sonia) : Non il faut l'étudier.
89	P : Il faut l'étudier. D'accord. Alors l'étudier ça veut dire quoi ?
90	E (Hélène) : Comment il est fait, le squelette et pis voilà
91	P : Comment il est fait, pis alors ça va nous donner des renseignements ça ?
92	E (Hélène) : Ben oui, s'il a des sortes de nageoires ou d'ailes, des trucs comme ça, on voit selon la forme. Les ailes c'est particulier, les nageoires aussi donc heu ...
93	E (Aurélié) : Ca nous donne une idée sur le lieu de vie pis ensuite après ...
94	E : XXX
95	P : Donc si on retrouve des nageoires, on va dire que c'est un animal//
96	E : aquatique//
97	P : qui vivait dans l'eau //
98 (8')	E (Hélène) : Ben oui. En principe c'est ça //
99	E : Parce qu'y a des têtards //
100	P : Pourquoi en principe c'est ça ?
101	E (Maxime) : On dit ça pour les ailes XXX
102	P : Oui mais pourquoi on dit ça ?
103	E : XXX
104	E (Hélène) : Ben parce qu'avec les nageoires t'avance plus vite, tout ça.
105	P : Oui mais pourquoi on peut dire ça ?
106	E : XXX
107	E : Parce qu'on sait
108	P : Oui mais pourquoi on sait ?

109	E : XXX
110	E : Parce qu'y en a qui existe encore
111	P : Parce qu'il y en a qui existe encore. Certainement ben oui ! Si aujourd'hui on voit un animal avec des nageoires se déplacer dans l'eau on peut penser qu'auparavant... Oui mais auparavant c'est ... c'est quoi pour vous ? //
112	E (Maxime) : Des millions d'années//
113	P : C'est y'a dix ans, c'est y'a ...
114	E (Maxime) : C'est y'a des millions d'années
115	P : Y' a des millions d'années. C'est ... Si on voit un animal ou un être vivant avec des nageoires, on peut penser qu'il vivait dans l'eau. C'est une solution ça. C'est une solution...Maxime encore ?
116	E (Maxime) : Pour l'évolution on peut dire : si on trouve un être vivant qui a vécu dans l'eau comme on l'a dit, si on retrouve les mêmes caractéristiques sur un être vivant qu'avec qui qu'est qu'on a trouvé sur la terre ferme, on peut supposer p't-être qu'il y a eu évolution entre les deux, il se sera adapté sur la terre ferme.
117 (9')	P : C'est quoi pour toi évolution hein ...Maxime ?
118	E (Maxime) : Ben c'est une adaptation heu. Chais pas moi par exemple, y'en a qu'on peut-être évoluer pour survivre...
119	P : Mais ça veut dire quoi évoluer ?
120	E (Maxime) : Ca veut dire changer d'apparence.
121	P : Oui, Hélène !
122	E (Hélène) : Ben c'est changer tout, de comportement, de ce qui se fait physiquement et intellectuellement.
123	P : Et Claude pour toi ?
124	E : (Claude) : Ben moi je dirais que c'est uniquement <i>physiquement</i> mais en fonction de ses besoins, du milieu de vie, de //
125	P : Tout le monde entend ? Eva.
126	E (Eva) : Pour s'adapter.
127	P : Pour s'adapter. Alexandre, qu'est-ce que t'en penses toi, évolution ? Parce que tu l'as mis sur ton document, toi, je l'ai vu en passant vers le groupe. Qu'est ce que tu entends par évolution ? Tu as entendu ce qu'a dit Maxime, Claude, Hélène, Eva ? Tu es d'accord avec qui ?
128	E (Alexandre) : ...
129	P : Donc tu n'es d'accord avec personne. Donc tu as encore une autre idée d'évolution, il faut que tu nous la donnes.
130	E (Alexandre) : Ben c'est que ça change, des coups XXX ...
131	P : C'est quoi le ça change ? C'es quoi le ça ?
132	E (Alexandre) : L'espèce, enfin l'animal change
133 (10')	P : L'animal change. Change de quoi ?
134	E (Alexandre) : Ben d'apparence.
135	P : D'apparence. Laurine.
136	E (Laurine) : Ben c'est un développement.
137	P : C'est un développement. Tout le monde sait ce que ça veut dire un développement ?
138	E (Sonia) : Ben oui que ça change//
139	E (Laurine) : Au fil du temps ça s'améliore//
140	E (Sonia) : En s'améliorant quoi.
141	P : Ca s'améliore ?
142	E (Hélène) : Ca s'améliore au fil de ... selon l'environnement.
143	P : Aurélie.
144	E (Aurélie) : Ben ça s'adapte aux changements de heu des lieux de vie ou de ... ou des changements, des changements possibles, simplement XXX des changements//
145	E (Maxime) : Comme le têtard et la grenouille !

146	P : Pour vous évolution c'est... Vous êtes d'accord avec Aurélie ?
147	E : Non
148	E (Maxime) : Comme le têtard et la grenouille.
149	P : Non ?
150	E : T'as dit quoi Aurélie ? Aurélie, t'as dit quoi ?
151	P : Tu nous rappelles Aurélie.
152	E (Aurélie) : Que c'était un changement pour heu s'adapter aux conditions de vie, au//
153	E : Ben non pas forcément//
154	E (Sylvain) : On devient plus intelligent aussi.
155	P : Sylvain tu dis ?
156	E (Sylvain) : On devient plus intelligent aussi.
157	P : On devient plus intelligent. C'est qui le on ?
158	E (Sylvain) : Ben les êtres vivants
159	P : Les êtres vivants deviennent plus intelligents.//
160	E : Non pas spécialement XXX//
161 (11')	E : Ben pas forcément//
162	P : Hélène
163	E (Hélène) : J'ai un exemple. J'ai un exemple qui est physique. On a tous dans le corps des canines, mais avant on avait des canines plus grandes et enfin dans quelques années on en aura plus//
164	P : Mais c'est qui nous ?
165	E (Hélène) : Ben les hommes quoi. Heu ...Avant on avait par exemple des canines plus grandes, maintenant on en a des moins grandes et on va en avoir plus du tout parce qu'on en aura plus besoin.(rire) Mais avant on en avait besoin, donc heu elles étaient plus longues, plus//
166	EEE : rires
167	E (Hélène) : C'est un exemple foireux mais c'est pas grave. (rire)
168	E (Laurine) : Comme les poils !
169	EEE : rire
170	P : Alors comme les poils ... Laurine ?
171	E (Laurine) : Alors chais pas, ça leur servait pour pas qu'ils aient trop froid et tout, et pis comme c'étaient des descendants des singes...
172	P : Ah ! C'étaient des descendants des singes... ? Qui qui étaient les descendants des singes ?
173	E : Des hommes préhistoriques //
174	P : L'homme préhistorique descend du singe ?
175	E (Sonia) : Oui, du chimpanzé ! C'est les scientifiques qui l'ont dit. (se moque de Maxime en reprenant sa formule)
176	P : Mais tu crois qu'ils l'ont dit à partir de quoi ?
177	E (fille cf Agnès ?): A partir de ... ben de <u>nous</u> . Enfin si nous on ressemble plus à un animal //
178	E (Anne) : A la ressemblance
179	P : A la ressemblance, dit Anne.
178	EEE : pas que ça XXX
180	P : Laurine
181	E (Laurine) : Ben aussi on a pu retrouvé des objets peut-être, chais pas des outils qu'ils avaient fabriqués et tout et pis à partir de ça on a pu heu on a pu dire...
182	P : On a pu dire quoi à partir de ça ?
183	E (Laurine) : On a pu dire comment ils vivaient, ce qu'ils faisaient//
184	P : Sylvain, j'aimerais que tu écoutes !
185	E (Laurine) : Pour dire si...ils chassaient, si ...si ils cultivaient, si...ils//
186	E (Sonia) : Sa vie quoi !
187	E (Laurine) : Oui ce qu'ils faisaient, si ...//

188	E (Sonia) : Quand ils vivaient quoi !
189	P : Maxime, tu veux encore rajouter quelque chose.
190	E (Maxime) : Oui ! Dans « c'est pas sorcier », ils ont dit que//
191	P : Où ? Où ?
192	E (Maxime) : Dans « c'est pas sorcier », ils ont dit qu'avant ils avaient beaucoup de poils//
193	P : Mais qui avant ? Avant quoi ?
194	E (Maxime) : L'homme préhistorique//
195	E : Avant nous//
196	E (Maxime) : Avant l'être humain tel qu'il est aujourd'hui. Ils avaient beaucoup de poils parce qu'ils avaient froid, ça se redressait, ça faisait une barrière ; et comme maintenant le climat il s'est réchauffé on a eu de moins en moins besoin//
197	E (Sonia) : C'est parce qu'on a des habits.
198	P : Et alors ? Ceux qui vivent en Sibérie maintenant ?... Les esquimaux ils ont des poils qui, se dressent encore ?
199	E (Maxime) : NON. Ils ont un manteau de fourrure. On a évolué maintenant.
200	P : Alors comment ça se fait qu'eux, ils n'ont pas gardé leurs poils ?
201	E (Sonia) : Ben parce qu'on a évolué !//
202	EEE : XXX
203 (29')	E (Sonia) : On a retrouvé des choses//
204	E (Laurine) : On a créé des vêtements
205	P : Ah bon ?
206	E (Laurine) : Enfin heu, on a évolué mentalement. Comment ça ...on a appris//
207	E : On a trouvé des techniques
208	P : Claude
209	E (Claude) : XXX l'homme s'est développé tout seul XXX s'adapter tout seul à l'environnement, soit attendre que des inventions de l'homme
210	P : Sylvain, tu es satisfait ? ...de ce que tu as entendu ?... On va peut-être passer à une autre question.
211	EEE : Ouais
212	P : En fait on est passé du papillon à l'espèce humaine hein !

QUESTION Groupe 2

213 (30')	P : Alors ! Est-ce que la végétation est apparue en même temps ou séparément sur la terre et dans l'eau ? Est-ce que la végétation est apparue en même temps sur la terre et dans l'eau ou alors est-ce que c'est apparu peut-être sur la terre puis dans l'eau ou dans l'eau puis sur la terre ? Et puis ben pourquoi ? Pourquoi ? Sylvain.
214	E (Sylvain) : Ben dans l'eau. Parce qu'avant il y avait que de l'eau.
215	P : Avant quoi ? Avant quoi il y avait de l'eau ? Vous dites avant, mais avant quoi ?
216	E (Sylvain) : Ben tout au début du monde, il y avait que de l'eau donc heu y'avaient des plantes dedans pis voilà.
217	E (Hélène) : Mais en fait avant il y avait des algues et une fois que l'eau elle est partie, ben c'est les algues se sont transformées en végétation pis c'est resté comme ça.
218	E (Sonia) : oui mais comment on sait qu'avant il y avait de l'eau ? //
219	P : Sonia
220	E (Sonia) : moi j'arrive pas à comprendre comment on sait qu'il y avait que de l'eau. On n'était pas là pour le voir donc heu...
221	P : Qui répond à Sonia ?
222	E (Maxime) : Les scientifiques le savent/ prouvent
223	E : Par rapport aux fossiles
224	P : Par rapport aux fossiles ?
225	E : par rapport à ce qu'y en reste

226	P : Les fossiles. Les fossiles vont apporter de l'aide alors ?
227	E : Ben oui.
228	P : Maxime
229	E (Maxime) : Par exemple si on trouve un squelette de poisson en plein milieu de l'Australie ben on saura qu'avant l'Australie était recouverte d'eau
230	E (Sonia) : Pas forcément
231	E (Maxime) : Ben bien sûr que si !
232	E (Sonia) : Moi je comprends rien du tout.
233	E (Aurélie) : Ben le fossile il s'est pas déplacé, il s'est pas déplacé ! (<i>mime</i>)
234	E : Là, ça va pas
235	E : Il a pas bougé tout seul
236	P : Sonia ça lui pose problème, elle !
237 (31')	E (Sonia) : Mais si il y avait <u>que</u> de l'eau ou alors si il y avait aussi un peu de terre ?
238	E : Un petit peu de terre. Si un peu de terre.
239	E (Claude) : Mais peut-être que quand la terre s'est réchauffée, l'eau s'est évaporée...
240	EE : Ben oui, ben oui
241	P : Mais comment on le sait que l'eau s'est évaporée ?
242	E : Ben en étudiant
243	P : En étudiant. En étudiant quoi ?
244	E (Aurélie) : <i>On dit que maintenant le réchauffement de la Terre il est du aux problèmes de pot d'échappement qui font//</i>
245	E (Hélène) : Comment était la structure des hommes //
246	E (Maxime) : <i>Les dinosaures, ils l'ont bu (en apparté) //</i>
247	E (Aurélie) : Au début y'avait pas de pots d'échappement, ben alors pourquoi ça s'est réchauffé ?
248	E (Sonia) : Mais en fait c'est trop de questions !! //
249	EEE : <i>rire</i>
250	E : En fait c'est <i>beaucoup</i> de questions et pas beaucoup de réponses hein !!!
251	E : Parce que la terre elle bouge//
252	E (Maxime) : On parlait de la végétation, et maintenant on part sur le réchauffement de la Terre !
253	E (Sonia) : Ah ben c'est toi qui en a parlé de ça !
254	E (Laurine) : Pis tu dis que les dinosaures, ils buvaient l'eau alors ! <i>rire</i>
255 (32')	P : On a dit que si on découvre un poisson en plein milieu de l'Australie, on dit que l'eau s'est évaporée, on va déduire qu'en Australie il y avait de l'eau. Donc tout le monde a dit mais pourquoi l'eau se serait évaporée ?
256	E : Ben voilà ! Pi t'auras p'tre//
257	E (Maxime) : HEIN ET le soleil, peut-être qu'il y avait pas de protection d'atmosphère comme aujourd'hui et la Terre a peut-être évolué la Terre a peut-être eu une évolution
258	E : Mais comment on le sait ? Comment on le sait ?
259	E : Comment on peut l'savoir ?
260	E : Oui mais Maxime, il ne dit pas <u>que</u> la Terre a évolué, il dit bien que la Terre a peut-être évolué ! <i>Alors</i> il se pose la question, c'est pas sûr.
261	E (Maxime) : C'est une hypothèse !
262	P : Alors comment peut-on savoir que la Terre a évolué ?
263	E (Aurélie) : ben on sait que maintenant elle évolue puisque...//
264	P : On sait que maintenant elle évolue ! ...Hélène.
265	E (Hélène) : Tout simplement parce qu'on n'est plus des hommes préhistoriques.
266	P : Tu penses que les hommes préhistoriques ont été incapables de comprendre et de se poser des questions ?
267	E (Hélène) : Non mais ça si d'accord, ça si mais... On n'est plus pareil, quoi on n'a plus leurs têtes, pis on n'a plus le physique, tout ça. Pis on a une maison et on n'a pas une p'tite cabane, tout ça quoi. //

268	E (Maxime) : Non c'était des grottes !
269	P : Maxime, encore une réflexion ?
270	E (Maxime) : Peut-être que c'était avec une météorite, peut-être aussi que ça a enlevé l'eau. Y'a peut-être eu un réchauffement...
271 (33')	EEE : rires
272	E (Maxime) : On sait qu'une météorite, elle a peut-être bouleversé l'évolution <i>des dinosaures</i> //
273	E : Ca éclabousse ! (<i>rire</i>)//
274	E (Maxime) : et que ça a eu un effet sur l'eau qu'il y avait sur Terre.
275	P : Sophie qu'est-ce que tu en penses toi, de ... de ce que dit Maxime ?
276	E (Sophie) : Je sais pas
277	P : Sophie qu'est-ce que tu en penses ?
278	E (Sophie) : Je sais pas moi.
279	P : Non mais on te demande pas si il y a eu une météorite, on te demande ce que tu penses de ce que dit Maxime. Ce n'est pas pareil.//
280	E : N'importe quoi // (<i>en aparté</i>)
281	P : On ne te demande pas de trancher. Qu'est-ce que tu en penses toi de cette histoire de météorite ? Tu as compris pourquoi il a parlé de météorite ? Pour expliquer quoi ?
282	E (Sophie) : Qu'il y avait plus d'eau
283	P : Pour expliquer... ?
284	E (Sophie) : Qu'il y avait plus d'eau
285	P : Qu'il n'y avait plus d'eau ?
286	E : Ben non//
287	E : Mais de la terre//
288	E : Le réchauffement de la planète !
289	P : Pour expliquer ?...
290	E : Le réchauffement de la planète !
291	P : Le réchauffement de la planète mais donc avant comme vous dites ...Avant. Alors avant ... ?
292	E : Avant !?
293 (34')	E (Maxime) : Avant la météorite si elle a eu assez de conséquence pour détruire l'existence des dinosaures, pourquoi est-ce elle aurait pas assez de conséquence pour faire un réchauffement de la planète ? ! C'est quand même un bouleversement de la planète, ça, détruire des dinosaures. Alors pourquoi pas sur l'eau aussi ?!
294	P : Ben Anne, réponds à Maxime hein. Anne, réponds à Maxime !
295	E (Anne) : Il y avait déjà des continents du temps où les tyrannosaures XXX
296	P : Anne, elle dit qu'il y avait déjà des continents quand il y a eu les dinosaures.
297	E (Maxime) : Peut-être qu'il y en a eu <u>avant</u> aussi ! C'est pas parce qu'y a pas de continents//
298	P : Mais avant, avant quoi Maxime ?
299	E (Maxime) : Ben après le boomerang//
300	P : Tu me dis ... Tu me réponds avant en disant après (<i>rire</i>)
301	E (Maxime) : Ben oui. Ben y'a eu le boomerang pis après y'a eu ... Ben quand y'avait de l'eau, quand y'avait de l'eau, ben ça veut pas dire que comme y'avait pas de continents ben qu'y avait pas de météorite hein !
302	E : Ben voilà//
303	P : Oui c'est sûr que ça ne veut pas dire qu'il n'y avait pas de météorite.
304	E : En fait c'est l'inverse//
305	E : Mais en fait tu veux dire//
306	P : Eva tu lèves la main. Eva, oui
307	E (Eva) : Mais ...Par rapport aux dinosaures mais ils sont ... On n'est pas sûr qu'ils ont disparu à cause d'une météorite hein, les avis sont partagés hein.

308	E (Maxime) : Oui mais j'ai dit peut-être hein. //
309	E : Non, t'as pas dit peut-être, t'as dit que c'était sûr !//
310	E (Claude) : Y'en a qui disent que//
311	P : Arrête avec ton stylo Claude, pis dis à tout le monde.
312	E (Claude) : Y'en a qui disent que la lune ça aurait été une météorite qui se serait écrasée sur la Terre.
313	P : Qui ? Quoi ?
314	E (Claude) : La lune
315	P : La lune ?
316	E : Oui. <i>Ca serait pas la même qu'avec les dinosaures</i>
317	E (Sylvain) : Ouh là ! On est loin des dinosaures
318	E (Aurélie) : Là c'est un peu hors sujet
319	P : C'est un peu hors sujet, tu crois Aurélie ?
320	E (Aurélie) : Ben oui, on cherche pas à savoir ce que c'est que la lune.
321	E (Maxime) Ben oui, mais depuis t'à l'heure XXX //
322	E : Peut-être que la météorite XXX//
323	E : On a encore rien trouvé XXX //
324	EEE : XXX
325	P : Y'a Anne qui va nous faire nous ajouter quelque chose à l'histoire des météorites. On l'écoute, chut, chut, chut. Mais c'est aussi, pourquoi on parlait des météorites ?
326	E : Pour le réchauffement de la planète.
327	P : Et le réchauffement de la planète il aurait entraîné quoi ?
328	E (Claude) : Ben la la la ...une sécheresse.
329	P : Une sécheresse
330	E : Qu'il y ait plus d'eau, qu'il y ait plus d'eau sur la Terre
331	P : Alors Anne elle dit qu'il y a peut-être autre chose. Vas-y Anne. Dis le à tes camarades.
332	E (Anne) : Non mais c'est pas à propos du réchauffement de la planète
333	P : Ah c'est un autre propos. Alors justement, vas-y, ça permettra de quitter le...
334	E (Anne) : XXX
335	P : Et puis ? Ca va entraîner quoi alors ?
336	E (Anne) : XXX avec les séismes XXX
337	E : On n'entend rien du tout !
338	P : Parle plus fort. Adresse toi à tes camarades, pas à moi. Moi j'entends toujours assez.
339	E (Anne) : Ben l'évolution des ...
340	P : Des espèces
341	E (Anne) : aquatiques à l'espèce terrestre. Non euh... ben ...
342	P : Recommence, Hélène elle voudrait expliquer comment on est passé d'espèce aquatique//
343	EE : C'est Anne !
344	P : Je l'ai appelée comment ?
345	EE : Hélène.
346 (37')	P : Anne veut expliquer comment elle on est passé, comment le monde serait passé d'espèces aquatiques à des espèces terrestres. Voilà... Elle propose une réponse. Vas-y Anne, dis-la fort pour que tout le monde entende et que tout le monde réagisse. Clément aussi.
347	E (Anne) : Avec l'évolution des paysages, des séismes, des volcans, on a peut-être créé des continents et ce qui a ...heu...
348	P : Oui ce qui a permis hein d'avoir des espèces sur la terre. Mais comment une espèce qui est dans l'eau ... ?
349	E (Aurélie) : Si elle est obligée de de se ...//

350	E : De sortir//
351	E (Aurélie) : d'aller sur terre soit pour éviter un danger, soit pour se nourrir, soit pour euh...//
352	E : Non mais ça se peut pas //
353	E : Non mais t'imagines ! //
354	E : Ben oui mais elle va s'adapter//
355	E : Ben pas forcément//
356	P : Laissez Aurélie terminer et vous réagissez après.
357 (38')	E (Aurélie) : Ben oui mais ça peut être ça aussi. Si après les animaux aquatiques ils ont été obligés de sortir de l'eau pour ...euh ... soit éviter des dangers, soit se nourrir, ou n'importe quoi. Ils ont obligé, ils ont été obligés de changer d'aspect pour s'adapter aux conditions extérieures.
358	E : Non mais ils peuvent pas respirer sur terre aussi !
359	E (Aurélie) : Comment ?
360	E (?) : Non mais ils peuvent pas respirer sur terre.
361	E (Aurélie) : Oui ben justement, ils vont s'adapter après
362	E (Laurine) : C'est ce qu'elle disait Sonia, si une truite et ben (<i>rire</i>)
363	EEE : <i>rires</i>
364	P : Qu'est-ce qu'elle disait Sonia ?
365	E (Sonia) : Non mais je disais : si un poisson il va sur la terre. Il est habitué à vivre dans l'eau, et ben après il va enfin il va se dessécher, il est plus dans son élément. Y'en a p'tre qui pourront s'adapter, ceux qui vivent dans l'eau et dans sur la terre mais y'en a qui pourront p'tre pas.
366	P : A ton avis, ils ne pourront pas ou ils ne pourront peut-être pas ?//
367	E (Hélène) : Ben au fil du temps//
368	P : Tu sors un poisson de l'eau actuellement...
369	E (Sonia) : Ben il meurt. Il se dessèche !
370	E (Hélène) : Oui mais c'est au fil du temps, y'a des changements. L'espèce elle en a fait..., elle en fait d'autres puis encore d'autres puis ça <i>continue</i> //
371	E (Aurélie) : Non mais c'est pas d'un seul coup comme ça (<i>geste explosif</i>). C'est pas quelqu'un qu'est sorti puis POUH ! (<i>geste explosif</i>) Surprise il est sur la terre.
372	P : Oui mais tu vois ça a été compris comme ça.
373	E (Aurélie) : ouais. <i>Rire...</i>
374	P : Clément, qu'est-ce que tu en penses toi de l'évolution, d'après ce qui a été dit ? Rire...
375	E (Clément) : Ben que ça //
376 (39')	P : A ton avis toi, la végétation est apparue en même temps ... pendant ...?
377	E (Clément) : Oui en même temps, en même temps sur la terre et sur l'eau. Parce que ouais, par exemple en même temps ça rejoint l'idée de l'évaporation qui aurait adapté les plantes aquatiques au soleil, à ne pas avoir besoin d'eau.
378	E (Aurélie) : Ça peut marcher aussi pour les végétaux, pas que pour les animaux. XXXX donc heu//
379	P : On a l'impression que l'eau a quitté la Terre, d'après ce qu'on entend ? ... Est-ce que c'est le cas ?
380	E (Aurélie) : Quitté non ! Est-ce qu'elle a été absorbé par le sol ? Ou bien ...
381	P : Maxime
382	E (Maxime) : Ça pourrait être aussi être les courants marins qui ont emmené du sable et du coup ça a fait des ...reliefs
383	P : Hélène
384	E (Hélène) : Ben avec comme disait Anna avec les séismes et les volcans ben en fait l'eau elle est restée et en fait ça a fait des montagnes, et pis ça a fait des collines
385 (40')	P : Il y a l'idée de l'eau quoi ! Hein ?
386	E (Hélène) : Oui

QUESTION Groupe 3

387	P : L'homme préhistorique est-il l'intermédiaire entre l'homme et le singe ?
388	E : Moi je dis oui
389	E : OUI !
390	E : Non
391	P : Oui, pourquoi ! Non, pourquoi !
392	E : Ben Oui
393	P : Allez qui se lance... Il y en a qu'on n'a pas entendu... Lise, qu'est-ce que tu en penses ? C'est une question de ton groupe, ça, non ?
394	E (Lise) : Non c'est //
395	P : C'est quel groupe ? ... Allez Alexandre dis-nous comment vous êtes arrivé à cette question ?
396	E (Alexandre) : Parce que Maxime, il disait non
397	P : Il disait non, ils disaient non pourquoi, normalement Maxime ? ... Il disait non pourquoi ?
398	E (Alexandre) : Il disait que l'homme préhistorique c'était un homme. Mais c'est pas vraiment un homme !?
399	E (Maxime) : Ben si !
400	E (Alexandre) : D'abord le singe, pis après l'homme//
401	P : Maxime vas-y
402	E (Maxime) : ben L'homme préhistorique c'est un homme moi je pense et on lui a donné préhistorique pour définir l'époque à laquelle il vivait
403	EEEE : XXXX <i>nombreuse réactions inaudibles</i>
404	P : Clément !
405 (41')	E (Clément) : Au début L'homme préhistorique il n'avait pas de langage. Il l'a acquis en évoluant
406	P : Tu crois qu'on le sait comment ça toi ? XXX
407	E (Sylvain) : Ben oui, ils savaient rien les hommes préhistoriques,
408	P : Comment tu le sais qu'ils ne savaient rien les hommes préhistoriques ?
409	E (Sylvain) : Ils savaient pas parler, ils savaient rien faire
410	P : Comment tu le sais ?
411	E (Sylvain) : ils disaient rien
412	P : Comment tu le sais ?
413	E (Sylvain) : Chais pas
414	E : Ben voilà !
415	P : Réfléchis. ... comment on peut le savoir alors ?
416	E (Hélène) : On disait que les hommes préhistoriques c'étaient des idiots, mais non, et chaque jour ils//
417	P : Qui c'est qui on disait que les hommes préhistoriques c'étaient des idiots ?
418	E (Hélène) : les hommes préhistoriques on les prend pour des idiots mais en fait chaque jour ils découvraient des trucs, quoi ! Alors bon ! Oh t' sais, on dit aussi que l'homme préhistorique c'est l'homme mais il a fallu du temps avant que ça soit l'homme : ça été au début le singe, ensuite l'homme ça a été l'homme préhistorique <i>pis et ensuite au fil du temps ça a changé</i>
419 (42')	P : Mais qu'est-ce que c'est qui a changé ? ...Aurélie
420	E (Aurélie) : Pour en revenir à ce que disait Hélène, il faudrait savoir//
421	P : CHUT ! Chut ! On écoute
422	E (Aurélie) : Il faudrait savoir pour commencer qu'est-ce qu'on appelle homme ? Parce que tout à l'heure ils disaient ... moi je pense que l'homme préhistorique c'est un homme, l'homme c'est pas un singe. Qu'est-ce qu'on appelle un homme ?
423	P : Alors Alexandre qu'est-ce que tu réponds toi à cette question ? Qu'est-ce qu'on appelle un homme. Il faudrait peut-être commencé par là effectivement !

	Alexandre tu en es un. Alors comment tu le définirais un homme toi ? Tu en es un ? Alexandre ? On dit l'espèce humaine heu . Kévin qu'est-ce que tu en penses, toi, on ne t'a pas encore entendu ! Qu'est-ce que tu répondrais à la question d'Aurélie ?
424	E (Kévin) : Je pense que//
425	E (Hélène) : <i>rires</i>
426	E (Kévin) : Oh mais laisse moi dire ! Moi je pense que l'home préhistorique ben c'est grâce à lui qu'on en est arrivé là car si il avait pas découvert tous ces objets
427	E (Hélène) : Mais qu'est-ce que c'est qu'un homme ?
428 (43')	P : Oui il dit qu'à son avis sur ce qui a été dit
429	E (Kévin) : grâce Si il avait pas découvert tous ces objets qu'on utilise tous les jours, on ressemblerait à je ne sais pas trop quoi !
430	P : Oui il complète un petit peu ce que disait heu Sylvain finalement. Sylvain il avait l'air de dire finalement heu, enfin l'image qu'en donnait Hélène de l'homme préhistorique, un idiot. Kévin dit que s'il n'avait pas inventé tout ce qu'il a inventé, peut-être qu'on en serait pas là où on en est maintenant. Claude !
431	E (Claude) : L'homme en fait c'est un singe mais donc au mental plus évolué
	P : Il donne une définition Claude. Vas-y, dis la fort pour que tout le monde réagisse. Lise, on t'as toujours as entendu. Maxime. Vas-y Claude, tu t'adresses à eux, puis ils vont réagir
432	E (Claude) : Ah, je leur dis ?
433	P : Oui, vas-y
434	E (Claude) : je dirais que l'homme c'est un singe mais avec heu plus évolué mentalement
435 (44')	P : Lise , qu'est-ce que tu en penses ? Maxime ? Qu'est-ce que vous en pensez ? Fabien ? On ne vous a pas encore entendu ? ... Vous êtes d'accord ou pas ?
436	E : Ben ouais !
437	P : Pourquoi tu es d'accord ?
438	E : Ben après le singe il avait à peu près la même tête,... il était plus malin
439	P : Comment on sait qu'il était plus malin ?
440	E : Ben il a créé des objets, le singe il en faisait pas...
441	P : Lise, qu'est-ce que tu en penses ?
442	E (Lise) : Oui c'est juste ça, mais il a, il s'est développé
443	P : Qu'est-ce que c'est qui s'est développé ? le ça ? ...
444	E : L'intelligence
445	P : L'intelligence
446	E : Et pis le physique aussi
447	P : Et pis le physique aussi. Alexandre ? P : Oui, Hélène !
448	E (Hélène) : Mais si on dit que l'homme c'est un singe, C'est comme si on mettait un singe, C'est comme si on mettait un cerveau du du heu singe sur un physique d'homme. Ca va pas ! On a un physique qui a changé. On était peut-être avant son cousin mais on a évolué, on a changé. On était physiquement comme eux.
449 (45')	P : Mais si on était cousin ça veut dire quoi ? Mais si on était cousin avant avec un singe, ça veut dire quoi ça ?
450	E (Hélène) : On lui ressemblait un petit peu, on a des critères assez proches
451	P : Mais vous quand vous êtes cousin dans votre famille, c'est qu'il y a quoi entre//
452	E : un lien
453	E : des gènes
454	P : Y'a des liens entre quoi ?
455	E : Entre la famille
456	P : Entre la famille ! Donc si Hélène nous dit que le singe c'est un de nos cousins, ça veut dire quoi ça ?

457	EEE : c'est qu'on a des liens
458	P : Ca veut dire qu'on a des liens... avec le singe
459	E : Oui mais en fait si on refait un arbre généalogique, et pis qu'on remonte, on remonte, on remonte, on va arriver loin !
460	P : C'est-à-dire ?
461	E : On va voir que, on va arriver aux algues, nous
462	E (Sonia) : ben en fait on descend tous l'un de l'autre
463	E : <i>Ben en fait que les singes sont nos ancêtres</i>
464	P : Tu penses qu'on va arriver à ça, Sonia, toi ?
465	E (Sonia) : Ouais parce qu'en fait il y a chaque fois XXX il y a un rapport XXX
466	E : c'est un croisement de deux en fait entre le singe et l'homme à peu près
467	E (Sonia) : Non mais ça se peut <i>rires</i>

QUESTIONS Groupe 4

468	(46')	P : Humm, ça se peut... Ah ben tiens justement le pont il est fait. Est-ce que toutes les espèces peuvent être reliées entre elles ?
469		EEE : Ben oui !
470		E : Pas sur
471		E : Ben pas toutes, toutes
472		P : Pas toutes, toutes, alors lesquelles, lesquelles pas, lesquelles oui ?
473		E : Ben les aquatiques, les terrestres...
474		P : Alors on écoute la proposition d'Anne. Vas-y Anne. Adresse-toi à tout le monde
475		E : On part d'un point, les animaux, pis après on coupe en deux, y'a une partie terrestres, une partie es aquatiques, pis après on divise les reptiles, les mammifères, les autres animaux...XXX
476		P : Eva ... tu réagis, vas-y !
477		E (Eva) : Ben oui je réagis mais j'pourrais pas expliquer parce que cq c'est un truc que je sais... mais je peux pas//
478		P : Dis nous ce que tu sais déjà
479	(47')	E (Eva) : Parce que moi je pense que on descend tous de la même espèce, parce que c'est grâce à ça que la vie a pu se développer, c'est je pense que c'est grâce
480		P : On descend tous de la même espèce. Mais tu mettrais qui alors ?
481		E (Eva) : Des bactéries mais je suis pas sure
482		P : Des bactéries mais tu n'en es pas sure
483		E (Auréli) : Ca rejoint l'idée du premier... ce que dit Eva
484		P : Oui, Y a-t-il forcément eu un premier//
485		E (Auréli) : Non, il y a forcément eu un premier/
486		P : Il y a eu forcément un premier. Comment est-il apparu ?
487		E (Auréli) : Il a bien fallu qu'il y en ait un premier
488		P : Il a bien fallu qu'il y en ait un premier
489		E (Auréli) : Ben ça veut bien dire qu'on descend tous de la même espèce
490		P : Oui, mais comment il est-il apparu ce premier ? La question elle est posée là. Claude ? ... Tu sais moi je ne sais pas grand chose aujourd'hui, c'est vous qui chercher... Je suis devenue amnésique... Hélène.
491	(48')	E (Hélène) : Ben je reviens à ce que disait Anne. Quand elle disait que c'était divisé en deux avec aquatique et terrestre. Mais après les terrestres c'est divisé aussi en aériens. parce qu'il y a les animaux qui vivent sur la terre et les animaux qui volent XXX
492		P : Ils sont toujours aériens ou terrestres si tu veux mais bon heu... C'est vrai qu'il a fallu conquérir aussi les airs hein, c'est vrai. Claude
493		E (Claude) : J'ai vu dans une émission //
494		P : Parle fort à tes camarades !

495	E (Claude) : J'ai vu dans une émission que les oiseaux ça descend tous d'un <i>satidinosaure rex</i> . Par exemple pour le <i>satidinosaure-rex</i> on a retrouvé des os qui était dans le <i>vélociraptor</i> , ils ont retrouvé un p'tit dans le squelette du XXX
496 (49')	P : Ben ça permet quoi finalement cette comparaison de squelette finalement ? Quel peut être l'intérêt pour les scientifiques ? Il a bien dit Claude, on a retrouvé des os qui heu //
497	E : Si on compare les os d'un <i>vélociraptor</i> XXXX
498	P : Oui à comparer
499	E (Auréli) : En comparant les os on peut retrouvé des liens aussi XXXX
500	P : Oui peut-être. Peut-être nous dit Aurélie. Peut-être qu'en comparant les os on a retrouvé des liens
501	E (Hélène) : Ça permettrait de comparer la structure du squelette, on peut voir aussi l'environnement où ils vivaient, on peut voir aussi avec qui, les cousins tout ça
502	E y : Même si ils sont à peu près pareil que nous
503	P : Qui ? Qui ?
504	Ey : Ben tous les êtres vivants ! On a tous une tête, on a tous un corps, on a tous//
505	E (Sylvain) : Ah Non pas tous !
506	E : non on n'a pas//
507	P : Alors exemple, Sylvain ?
508	E (Sylvain) : ben chais pas la méduse, ça a pas de squelette par exemple
509	EEE : Aaah ! XXX
510	P : Alors cette méduse on va la faire apparaître quand cette méduse ?
511	E (Auréli) : Tu différencies comment la tête d'une méduse ? la tête du corps ?
512	E y : ben chais pas !?

Question GROUPE 5

513 (50')	P : Quel est le point de départ de la vie des êtres vivants ? On se retrouve encore dans ce thème là, hein ! ... Encore une petite réflexion sur cette question ?... Eva, tu nous avais proposé quelque chose. On peut peut-être réagir sur, Eva avait dit « moi il me semble, mais bon,... c'est peut-être des bactéries »
514	E : quand ça a commencé
515	P : mais comment on aurait trouvé ça ? c'est ça qui me, puis vous la situez quand cette apparition de la vie ?
516	E : Après le big-bang
517	P : Mais après le big-bang, c'est quand ça ? C'est quelle heure ?
518	E : des milliards d'années
519	P : des milliards d'années. Hélène
520	E (Hélène) : Ben les bactéries elles devaient se faire manger par des plus gros ... animaux donc heu après et on d'vait p'tre voir heu ce qu'ils mangeaient quand ils rejetaient quoi, on pouvait voir aussi//
521	E (Claude) : Mais aussi//
522	P : Oui Claude
523	E (Claude) : Mais si y'a que des bactéries il peut pas y avoir d'autres animaux
524	E (Hélène) : Oui mais avant ! Y'a eu des bactéries pis ensuite y'a eu encore des bactéries mais de plus en plus donc//
525	P : Mais est-ce qu'elle existe encore aujourd'hui les bactéries ?
526	E : peut-être différentes
527	E : peut-être pas les mêmes que maintenant
528 (51')	P : peut-être pas les mêmes qu'il y avait avant, peut-être pas les mêmes... On s'arrête là ?!
529	EEE : oui

ANNEXE 36

**MACROSTRUCTURE DE LA CONTROVERSE DE LA CLASSE DE
4^{ème} / OBSTACLE ANALOGISTE
(formulations d'élèves, occurrences 1 à 212)**

Légende



Problème de chronologie relative des fossiles



Problème d'une origine aquatique



Problème de filiation ou parenté ou évolution

Q = **question**

R = **réponse ou argument**

O = **objection ou contre-argument**

-bis = complément de réponse, de question ou d'objection

————→ QR = Inférence apocritique ; la réponse est induite par la question

————→ RQ = Inférence problématologique ; la réponse induit une nouvelle question

←———— RO, QO ou OO = Inférence aporétique ou d'objection ; la réponse, la question ou même l'objection est remise en cause, se heurte à une contradiction

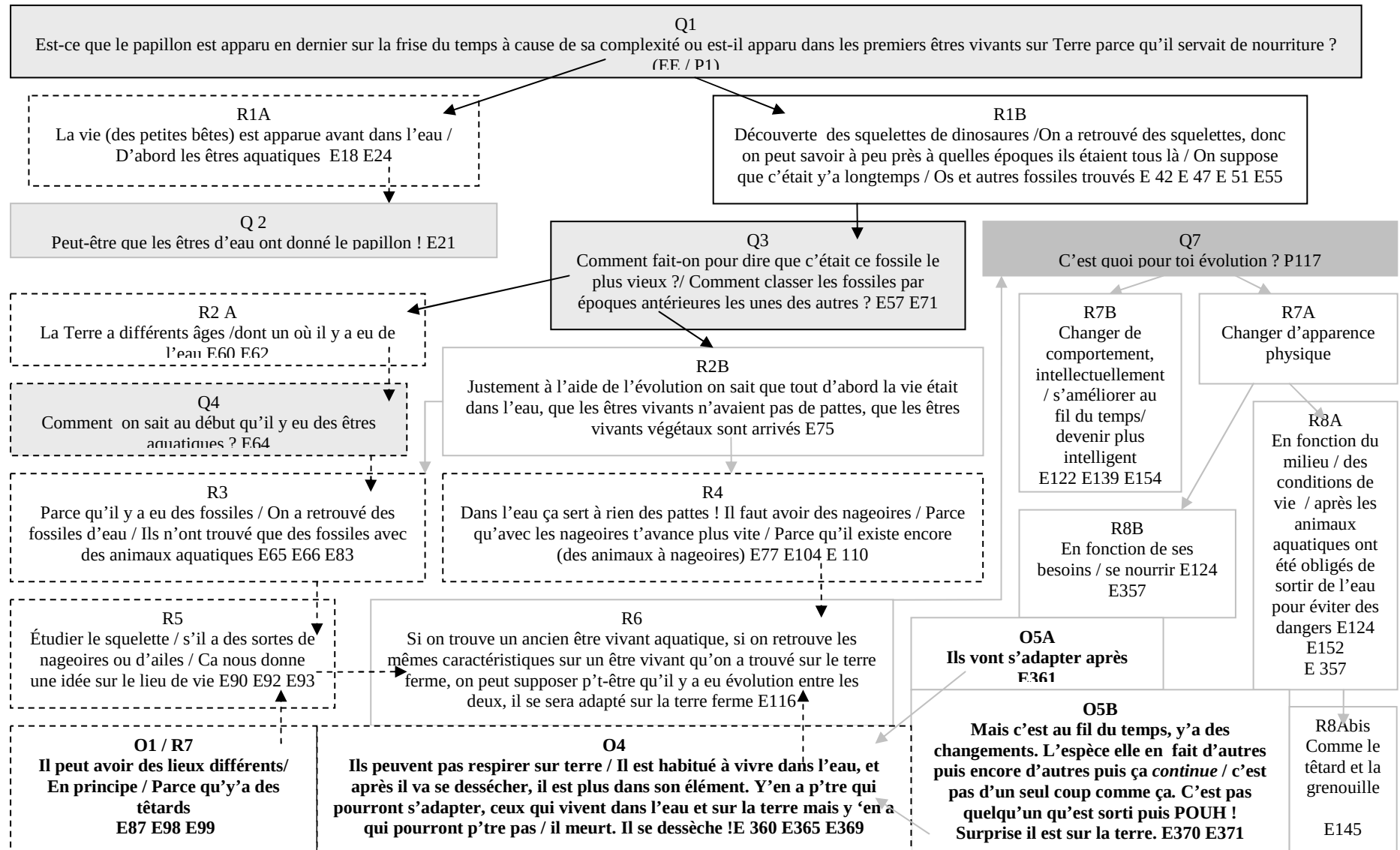
(E) : occurrence élève associée à un nombre signifiant l'ordre d'intervention dans le débat (Annexe 35)

(P) : occurrence professeur

-les bifurcations dichotomiques = diverses solutions de réponses à la même question

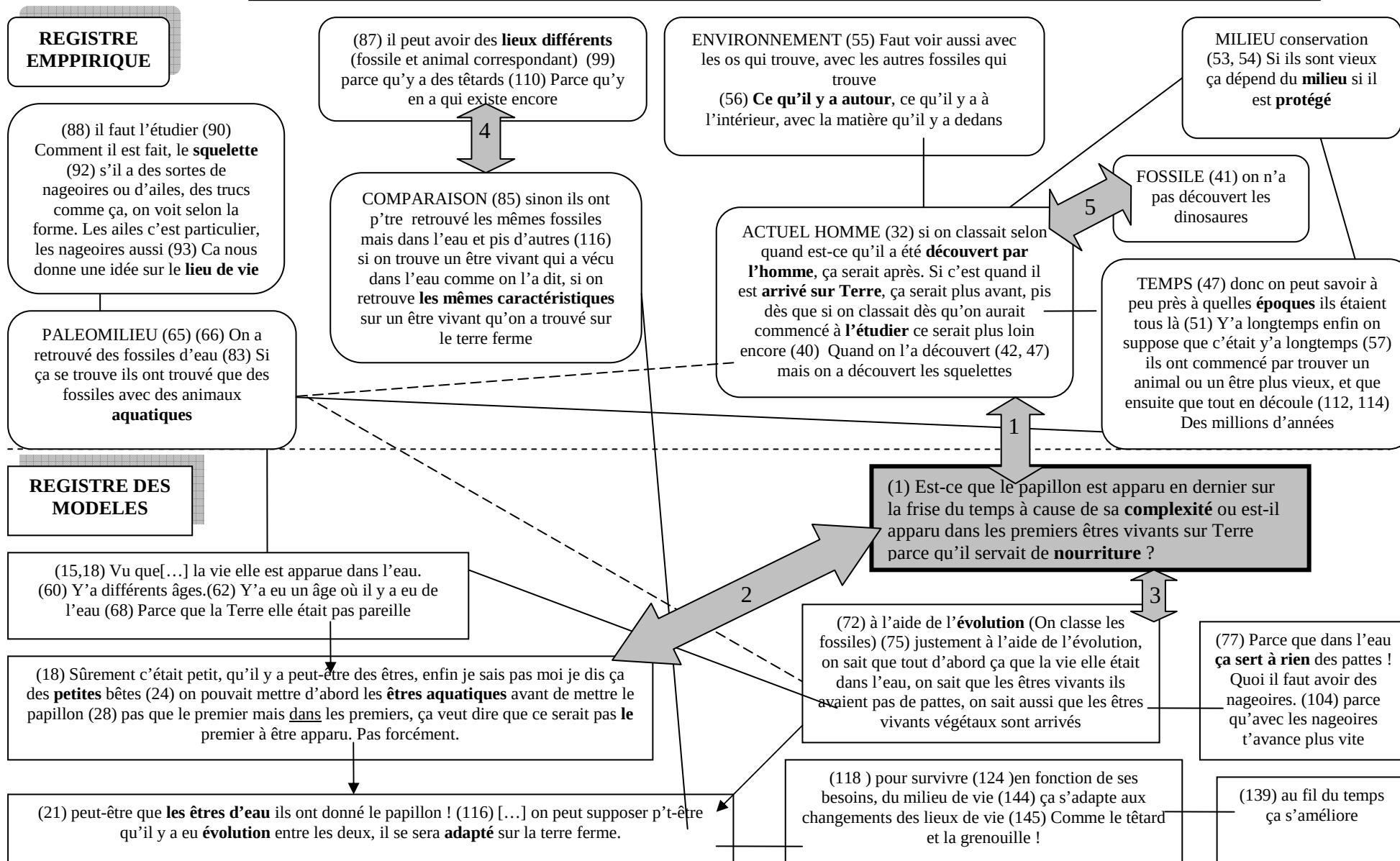
-les flèches horizontales ou verticales = inférence unique

Annexe 36 Macrostructure de la controverse de 4^{ème} de collège



ANNEXE 37

ESPACE DE FORMULATIONS sur la controverse de succession des êtres vivants sur Terre Épisode 1- 4^{ème} (occurrences 1 à 161)



ANNEXE 38**QUESTIONNAIRE GUIDANT LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE
SEMI-AUTONOME – 4^{ème} -****Collège de Pouilly-les Vignes - Classe d'A. Marle - 21 élèves****Séance N°5 et 6 des 31 mai et 6 juin 2005 (Cf. Organigramme de séquence Annexe N°32)**

Les questions explicites des élèves – formulées lors du travail de groupe et lors du débat- ont été regroupées en problèmes scientifiques. Un exposé par groupe d'élèves volontaires est préparé.

PROBLEME 1

Quelles sont les premières formes de vie ? (nature, âge, milieu de vie, ...)

Justifier votre réponse en expliquant comment les scientifiques ont pu émettre cette hypothèse

Rappel des questions des élèves :

- Tout a-t-il réellement commencé sous l'eau ?
- Est-il possible que des animaux descendent des végétaux ?
- Comment a-t-on fait pour savoir l'origine de la Terre et de la vie ?
- Comment s'est formée la vie ?
- Quel est le point de départ ?
- Comment sait-on qu'avant il n'y avait que de l'eau ?(débat collectif)
- Comment savoir que l'Australie était recouverte d'eau ?(débat collectif)
- Il y a eu forcément un premier ; comment est-il apparu ?

PROBLEME 2

Comparer des documents présentant la faune et la flore aquatiques et terrestres à deux périodes différentes : ère primaire et ère secondaire puis répondre aux questions des élèves en tirant des arguments de la comparaison des documents

Rappel des questions des élèves :

- Est-ce que la végétation est apparue en même temps ou séparément sur la terre et dans l'eau (la mer) ?
- Est-ce que les animaux aquatiques sont apparus avant ou après les animaux terrestres ?
- Comment le monde est passé d'espèces aquatiques à des espèces terrestres ?

PROBLEME 3

Est-ce que l'ordre d'apparition des espèces sur la Terre en fonction du temps est lié à la notion de chaîne alimentaire ?

Justifier votre réponse en expliquant comment les scientifiques ont pu établir, à partir d'observations dans la nature, cette succession des différents groupes d'êtres vivants

Pour les groupes Papillon, Pin et Dinosauré comment les géologues ont-ils pu déterminer leur époque d'apparition sur la Terre et leur durée d'existence ?

En conclusion : présenter une ligne du temps sur laquelle seront placés les 3 groupes cités précédemment

Rappel des questions des élèves :

- Est-ce que le papillon est apparu en dernier sur la frise du temps à cause de sa complexité ?
- Est-ce qu'il est apparu dans les premiers êtres vivants sur Terre parce qu'il servait de nourriture ?
- Est-ce que le pin est apparu avant les dinosaures pour servir de nourriture et faire de l'oxygène ?
- Comment fait-on pour déduire qu'un fossile est plus vieux qu'un autre ?(débat collectif)

PROBLEME 4

Comment les scientifiques expliquent-ils la disparition, l'extinction de certains groupes d'êtres vivants à la surface de la Terre ?

Répondre en s'appuyant sur le cas des Dinosaures et des Ammonites

Rappel des questions des élèves :

- Y a-t-il des descendants actuels des dinosaures ?
- Est-ce que le crocodile est le descendant du tyrannosaure ? Justifier
- Comment s'appelait le requin du temps des dinosaures ?
- Peut-on savoir au bout de combien de temps une espèce a-t-elle évolué ?
- Les dinosaures sont-ils morts à cause d'une météorite ?
- La météorite a-t-elle eu comme conséquence le réchauffement de la planète et l'assèchement, l'évaporation de certaines zones terrestres?

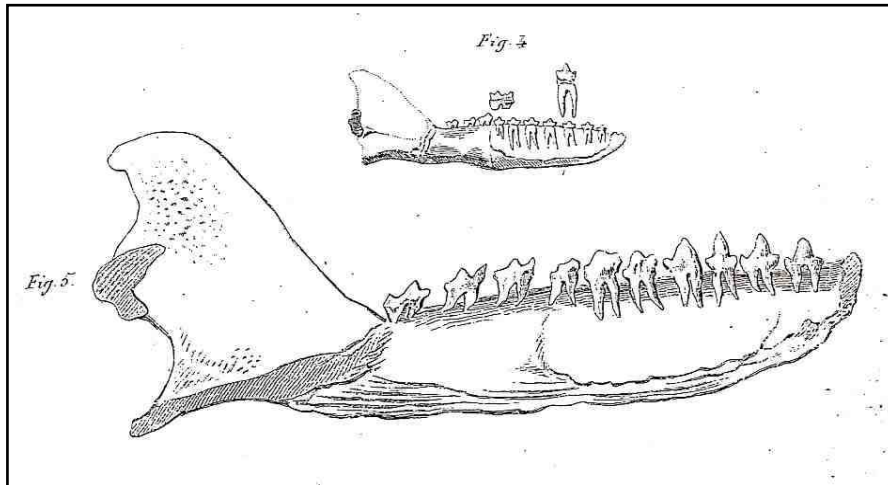
**Controverse historique au XIX^e siècle sur l'identité d'un
fossile et l'histoire des vivants sur Terre**

ANNEXE 39

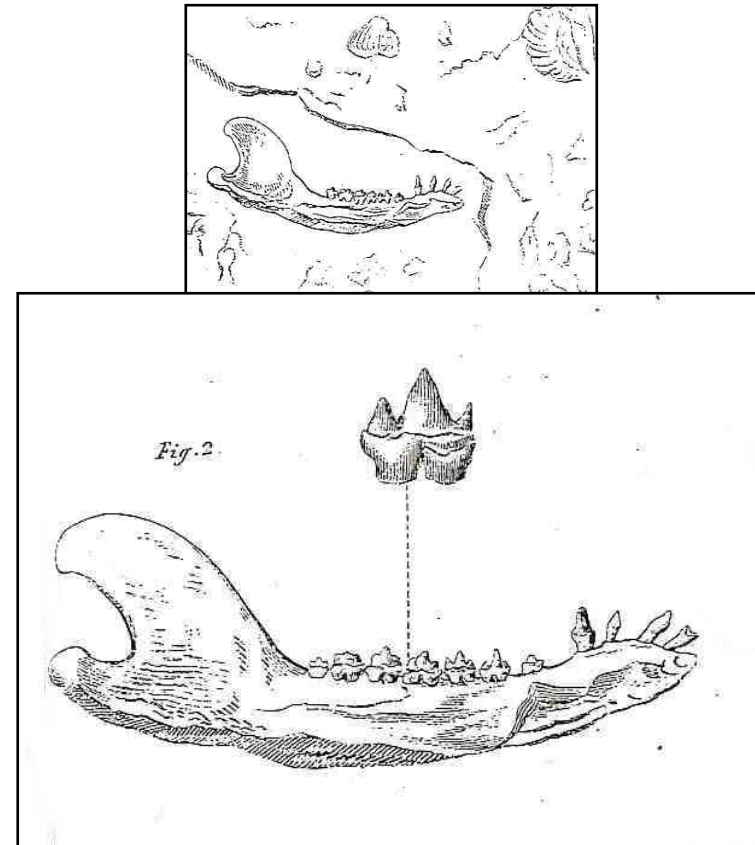
**TABLEAU COMPARATIF DES FOSSILES EN DÉBAT ET DES ANIMAUX ACTUELS
D'APRÈS L'ARGUMENTATION DE BLAINVILLE EN 1838 -
FIGURES ET PLANCHES DES FOSSILES RÉFÉRENCÉS**

Critères / Système dentaire (critère spécifique)	Didelphis Prevostii (1818)	Didelphis Bucklandii (1824) (genre Sarigue)	Didelphe actuel (genre Sarigue)	Monodelphe actuel (genre Tupaia)	Basilosaurus (Saurien reptile gigantesque du lias d'Amérique)
Formule dentaire	Serie continue de dix dents toutes de type molaire non contiguës espacées régulièrement	Série discontinue de formule dentaire hétérogène : 4 incisives + 1 canine + barre véritable + 7 molaires non contiguës	3 sortes de dents / disposition et forme séparées par 2 barres 3 ou 4 Incisives à une seule racine 1 canine 7 molaires à racine double Conclusion : 2 série de dents, simples et complexes = dents postérieures complexes à la couronne et à la racine combinées avec des dents antérieures simples dans les deux parties MAMMIFERE	Série à peu près continue 3 incisives, 1 canine 6 molaires	1 ^{ère} sorte de dents implantées simples dont 1 canine plus grosse 2 ^{ème} sorte de dents implantées, comprimées –aplaties, triangulaires à la couronne, à racine double
Forme des molaires	décroissante (subégales, subsimilaires) Couronne comprimée, petite, tricuspide à pointe médiane élevée + Racines à deux radicules grêles et très longs (disproportion entre couronne/ racine)	décroissantes Molaires tricuspidés (palmette lobée) dont 1 pentacuspide toutes à racine double	3 fausses molaires triangulaires à une seule pointe, 4 vraies molaires épaisses subcarrées échancrées et pentacuspides	2 à couronne simple + 1 à deux pointes + 3 subcarrées pentacuspides	
Canal dentaire	Sans canal dentaire		Canal dentaire MAMMIFERE		
		Même nombre de 3 sortes de dents			
	Même forme de molaires tricuspidés				
Os de la mandibule	Pas d'apophyse articulaire Apophyse coronoïde tronquée Hypothèse : traces de suture effacées				

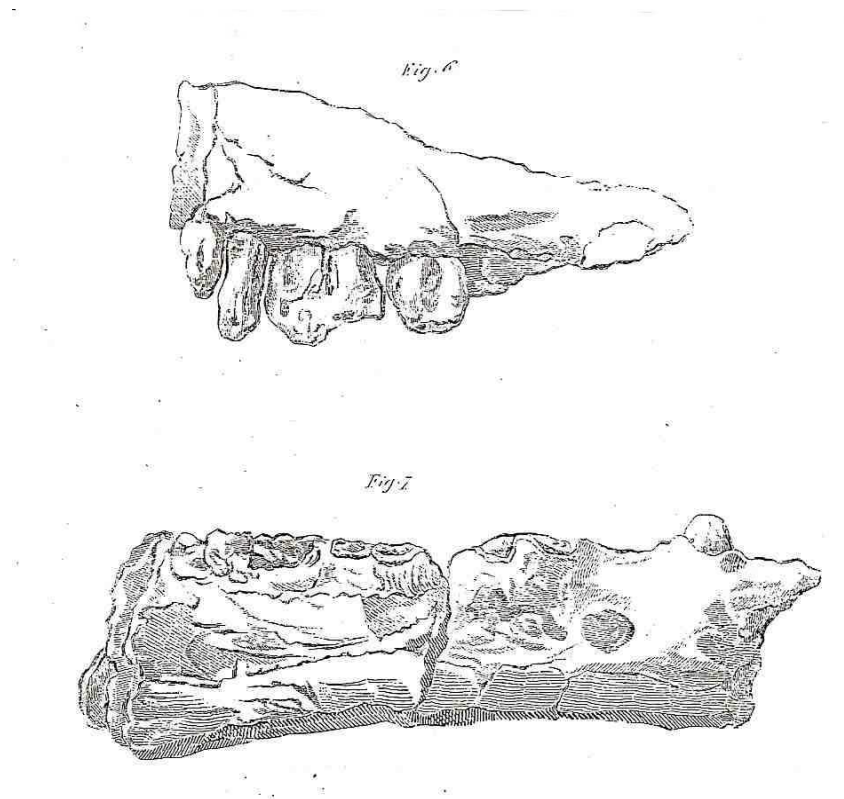
Mâchoires de *Didelphis Prevostii* dessinées par Constant Prevost –grandeur naturelle et grandeur grossie



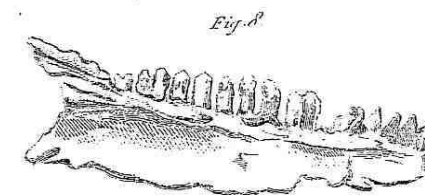
Mâchoires de *Didelphis Bucklandii* dessinées par Broderip –grandeur naturelle et grandeur grossie



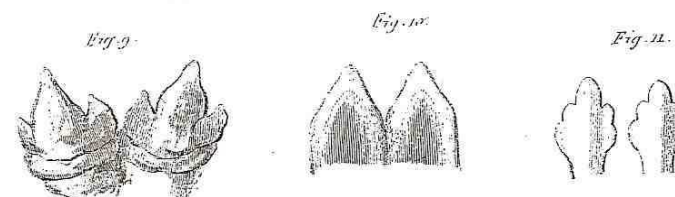
Mâchoires de Saurien *Basilosaurus* –mémoire de Harlan
Philadelphie–grandeur considérablement rétrécie



Mâchoire de Saurien –École des mines



Dents de divers poissons



Résumé :

L'étude comparative, didactique et historique, de problèmes paléontologiques conduit à une convergence à trois niveaux des relations entre problèmes et obstacles : le problème de l'origine des fossiles lié à l'obstacle artificialiste, le problème de la nature des fossiles lié à l'obstacle animiste par végétation spontanée, le problème d'identité des faunes fossiles par rapport aux faunes actuelles lié à l'obstacle « analogiste » proposé. La construction collective du savoir paléontologique est analysée dans le cadre théorique et méthodologique de la problématisation à partir de trois situations de débats scolaires et de quatre controverses historiques –dont deux inédites. Les fonctions heuristiques, argumentatives et théoriques de ces discussions sont comparées. Nous aboutissons à plusieurs niveaux de problématisations en didactique et en histoire des sciences ; et nous constatons une divergence des processus de construction de la connaissance paléontologique, marquée par les possibilités et les nécessités mobilisées par les deux communautés discursives. L'interaction entre problématisation et obstacle est discutée comme frein ou moteur des concepts paléontologiques –pétrification, espèces fossiles disparues ou analogues, transformation par descendance des espèces, temps géologiques. Les notions de savoir problématisé et controversé ainsi que d'obstacle polymorphe et récurrent sont revisitées ; la notion de nécessité conditionnelle est proposée. Elles constituent trois points de référence épistémologique qui peuvent favoriser un enseignement et un apprentissage scientifiques de qualité dans le primaire et le secondaire.

Title : The construction of problems and epistemological obstacles about fossil : epistemological and comparative study between classroom discussion at primary school and at secondary school and historic controversies from the XVII^e to the XIX^e century.

Abstract :

The comparative study, didactic and historical, of problems in the field of palaeontology leads to a convergence in three levels about relations between problems and obstacles : the problem of the fossil origin linked to the artificialist obstacle, the problem of the fossil nature linked to the animist obstacle by spontaneous vegetation, the problem of fossil fauna identity in comparison with present-day fauna linked to “analogist” obstacle which is proposed. The collective construction of paleontological knowledge is analysed within the theoretical and methodological framework of questioning coming from three science debates in-class and four historical controversies among which two are original. The heuristic, argumentative and theoretical functions of these discussions are compared. We can end up in several levels of constructions of problems in didactic and in history of sciences ; and we can notice different process of paleontological knowledge, marked by the possibilities and the requirements mobilized by two communities under discussion. The interaction between construction of problem and obstacle is discussed as a brake or a mainspring of paleontological concepts – petrification, analogous or extinct fossil species, transformation by species' lineage, geological times. The notions of knowledge questioning and much debated as well as the polymorphic and recurrent obstacle are re-examined ; the notion of conditional necessity is suggested. They constitute three points of epistemological reference which can favour scientific teaching and learning with quality at primary school and at secondary school.

Discipline : SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Mots-clés : Apprentissages de la paléontologie, histoire de la paléontologie, problématisation, débats en science dans la classe, controverse historique, obstacles

Key-words : Learnings of paleontology, history of paleontology, construction of problem, in-class science debates, historical controversy, obstacles

*Laboratoire du CREN, CENTRE DE RECHERCHES en ÉDUCATION DE NANTES
Chemin de la Censive du Tertre BP 81227
44312 Nantes cedex 3*