



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

Année 2008

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANTES

Discipline : Sciences de l'éducation

présentée et soutenue publiquement

par

Yann Lhoste

le jeudi 4 décembre 2008

***Problématisation, activités langagières
et apprentissages dans les sciences de
la vie***

Étude de débats scientifiques dans la classe dans deux domaines
biologiques : nutrition et évolution

Directeur de thèse : Christian ORANGE
Co-directrice : Martine JAUBERT

Jury

Jean-Pierre Astolfi, professeur, université de Rouen, rapporteur
Michel Fabre, professeur, université de Nantes, président du jury
Martine Jaubert, professeur, IUFM d'Aquitaine, codirectrice de thèse
Christian Orange, professeur, IUFM des Pays de la Loire, directeur de thèse
Dominique Rojat, inspecteur général de l'Éducation nationale (SVT), examinateur
Patricia Schneeberger, maître de conférences, HDR, IUFM d'Aquitaine, rapporteur

« Dans le règne de la pensée, l'imprudence est une méthode »
Gaston Bachelard

Remerciements

Je veux dire, ici et en premier lieu, ma gratitude à Christian Orange pour avoir accompagné mes premiers pas de chercheur avec bienveillance et rigueur. Sa confiance et son regard critique m'ont aidé tout au long de ce travail qui lui doit beaucoup.

Merci à Martine Jaubert d'avoir accepté de suivre mon mémoire et de m'avoir facilité l'entrée dans le monde des sciences du langage. J'espère ne pas avoir trop maltraité les concepts et les outils développés par l'équipe de Bordeaux.

Un immense merci à Brigitte Peterfalvi pour sa disponibilité et son grand intérêt pour mes recherches. Les moments forts de réflexion au *café Zimmer* à Paris ont facilité la mise en forme de mes idées et les ont enrichies de toute son expérience. Ce travail ne serait pas ce qu'il est sans Brigitte.

Je dois également beaucoup à mes différentes familles professionnelles :

- à l'équipe de Saint-Lô qui m'ont permis d'entrer en didactique. Je pense en tout premier lieu à Françoise Beorchia et à Paulette Ducrocq qui m'ont donné la chance de travailler avec elles. Et puis il y a les collègues et amis de la didactique de l'EPS et de la didactique professionnelle emmenés par Alain Le Bas qui ont enrichi ma réflexion par leurs outils, leurs concepts et leurs préoccupations ;
- à l'équipe du séminaire problématisation du CREN, en particulier à Michel Fabre qui a toujours suivi mon travail avec intérêt ;
- à l'équipe d'Aster qui m'a si bien accueilli et qui me témoigne une grande confiance ;
- à l'équipe de l'IUFM de Bordeaux pour leur soutien et leur aide précieuse : merci donc à Maryse Rebière, Véronique Boiron et Patricia Schneeberger ;
- à mes collègues, professeurs du second degré de l'académie de Caen, qui se sont retrouvés embarqués dans cette aventure alors qu'ils s'inscrivaient simplement à un stage de formation continue. Je n'ai pas la place de tous les citer (certains le seront au fil de ce mémoire), mais qu'ils sachent que ce travail n'aurait pas été possible sans eux.

Tous mes remerciements à Jean-Pierre Astolfi, Michel Fabre, Dominique Rojat et Patricia Schneeberger, pour avoir accepté de lire de mon travail.

Pour terminer sur une note plus personnelle, je remercie mes proches pour qui je n'ai pas été très disponible ces derniers temps, tout particulièrement Margaux et Sergio, ils ont « supporté » cette thèse tout autant que moi.

Sommaire

Sommaire	7
Introduction générale	11
Chapitre 1. EXPLICATION, PROBLÉMATISATION ET SAVOIRS EN SCIENCES DE LA VIE	17
Introduction	18
1. Science et explication	20
2. Expliquer en sciences	23
3. La justification des explications	27
3.1. Explication et tradition de recherche : style de pensée, paradigme, épistémè	27
3.2. Explication et test empirique	34
3.2.1. Spécificités de l'expérimentation en biologie fonctionnaliste	35
3.2.2. Fondements logiques de la démarche expérimentale en biologie fonctionnaliste	38
3.3. Conclusion	40
4. Une épistémologie de la découverte : problème et explication	41
4.1. Le problème de la découverte	41
4.2. La problématologie ou la possibilité d'une épistémologie de la découverte scientifique	43
4.2.1. Les faits, quels faits ?	44
4.2.2. La logique de la découverte : causalité et relevance	45
4.2.3. Expérience et nécessité : articulation entre découverte et justification	47
4.3. Conclusion : l'explication entre expliquer et comprendre	48
5. Explication et problématisation : positionnement épistémologique	50
6. Conséquences : les apprentissages scolaires en sciences de la vie	54
6.1. Le propositionnalisme du savoir scolaire : savoir et problème	54
6.2. Une conception épistémique classique des enseignants de SVT : le problème réduit à sa fonction de motivation et la primauté de la justification sur la recherche dans la construction des explications	56
6.3. Apprendre les sciences de la vie : explication et problématisation	59
6.4. La problématisation : processus et produit	61
6.4.1. La dynamique de la problématisation : les deux dédoublements	62
6.4.2. Le produit de la problématisation d'un problème explicatif : une modélisation	69
6.4.3. Conséquences méthodologiques de la distinction processus/produit pour rendre compte de l'activité de problématisation des élèves	73
7. Conclusions et première formulation de la question de recherche	85
Chapitre 2. PROBLÉMATISATION EN SCIENCES ET ACTIVITÉ LANGAGIÈRE	87
Introduction	88
1. Explication et mise en texte du savoir : le langage au laboratoire	92
1.1. Place et fonction de l'activité langagière dans l'activité scientifique	92
1.2. Communication informelle et recherche d'explication	97
1.3. Communication formelle et justification de l'explication : la mise en texte du savoir	99
1.4. Conclusion	102
2. Quelle conception du langage pour rendre compte du versant langagier de l'activité scientifique ?	104
2.1. Les pratiques langagières de la communauté scientifique sont constitutives des savoirs scientifiques	105
2.2. Une conception dialogique du langage	107
2.3. Les pratiques langagières s'inscrivent dans des genres de discours différents	111

2.4. Conclusion	113
3. Conséquence : langage et apprentissages scientifiques	121
3.1. Langage et activités scientifiques dans une séquence de classe ordinaire	122
3.2. Langage et apprentissages scientifiques à la lumière de la théorie vygotkienne des apprentissages scolaires	125
3.2.1. Une conception constructiviste des apprentissages	125
3.2.2. Apprentissages scolaires versus apprentissages non scolaires	126
3.2.3. Concepts scientifiques et concepts quotidiens	128
3.2.4. Les apprentissages des concepts scientifiques se font en collaboration avec autrui puis sont reconstruits pour soi-même	135
3.3. Conclusion : la question de la transposition didactique	136
4. Des outils langagiers pour analyser le processus de problématisation	141
4.1. Des outils pour analyser le travail langagier de construction d'une explication au cours des débats scientifiques en classe	142
4.2. Des outils pour analyser l'articulation des argumentations produites par les élèves et la construction des raisons	143
4.3. Des outils pour analyser les arguments produits par les élèves	145
5. Conclusion et nouvelle formulation des questions de recherche	147
Chapitre 3. QUESTIONS DE RECHERCHE, DOMAINE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL	149
Introduction	150
1. Explicitation des questions de recherche	151
1.1. Fonctionnalité des « espaces contraintes et nécessités » sur des cas particuliers (approche épistémologique préalable)	151
1.2. Analyse des problématisations scolaires : une analyse du processus de problématisation dans le cas de problèmes explicatifs	152
2. Objets d'étude, niveaux de classe et situations retenues	154
2.1. Les objets d'étude : biologie fonctionnaliste et biologie historique	154
2.2. Les niveaux d'étude retenus	155
2.3. Deux situations ouvertes et une situation plus contrainte	157
2.4. Conclusion : comparaison des trois études menées	158
3. Méthodologie de travail	159
3.1. Une analyse préalable de nature épistémologique de l'objet d'étude abordé	159
3.2. Méthodologie d'analyse des débats scientifiques	160
3.2.1. Premier temps : analyse macroscopique	161
3.2.2. Deuxième temps : une analyse microscopique à l'échelle d'un épisode mobilisant deux outils différents	163
3.2.3. Conclusion	164
Chapitre 4. PREMIÈRE ÉTUDE DE CAS : LES FONCTIONS DE NUTRITION	167
Introduction : la nutrition au cœur de la biologie fonctionnaliste	168
1. Les fonctions de nutrition : analyse préalable dans le cadre de la problématisation	171
1.1. La nutrition : plusieurs familles de problèmes	171
1.2. Une étude cas : la nécessité de transformation dans les différentes familles de problème	173
1.2.1. La nécessité de transformation dans un débat en cycle 3	173
1.2.2. La nécessité de transformation dans des problèmes de distribution	176
1.2.3. La nécessité de transformation dans des problèmes d'assimilation	179
1.3. Conclusion	189
2. La nutrition chez l'homme en classe de 3^e : une problématisation scolaire	190
2.1. Le dispositif d'enseignement-apprentissage	190

2.1.1. La nutrition dans le programme de 3 ^e	190
2.1.2. Premier temps : la situation d'évaluation diagnostique	191
2.1.3. Deuxième temps : un travail de groupe	191
2.1.4. Troisième temps : un débat scientifique dans la classe	191
2.2. Analyse du processus de problématisation	192
2.2.1. Analyse macroscopique du débat	192
2.2.2. Analyse épistémologico-langagière	199
2.2.3. Conclusion : l'« espace contraintes et nécessités » en jeu dans le débat de 3 ^e	237
3. Discussion	243
3.1. La structure des explications produites	243
3.1.1. Caractérisation des énoncés produits	243
3.1.2. Les genres d'énoncés produits par les élèves confrontés à l'explication de la nutrition chez l'homme	246
3.2. La dynamique de construction de l'explication	250
3.2.1. L'exigence de précision sur les solutions possibles	250
3.2.2. La mise en cohérence langagière et épistémique	250
3.2.3. Conclusion	254
3.3. Les raisonnements et argumentations des élèves	255
3.3.1. Le fonctionnement des épisodes fortement argumentatifs : rôle dans la problématisation	255
3.3.2. Implicite / explicite dans les arguments et les raisonnements des élèves	257
3.3.3. Conclusion et problèmes didactiques	262
4. Conclusion	263
Chapitre 5. ÉVOLUTION DES ÊTRES VIVANTS ET ANCÊTRE COMMUN HYPOTHÉTIQUE	265
Introduction : spécificité des explications évolutionnistes en biologie, une compréhension narrative	266
1. Évolution et ancêtre commun : une analyse épistémologique	269
1.1. Le concept d'évolution : analyse épistémologique	269
1.1.1. Présentation du concept	269
1.1.2. Conditions de possibilité du concept de sélection naturelle et limites	276
1.1.3. Ce que l'on sait et ne sait pas de l'évolution actuellement	278
1.1.4. Conclusion	281
1.2. L'ancêtre hypothétique commun : une analyse épistémologique	282
1.2.1. L'ancêtre commun dans la systématique phylogénétique : apport de Hennig	282
1.2.2. Le concept d'ancêtre commun	284
1.2.3. Conditions de possibilité du concept d'ancêtre hypothétique commun	286
1.2.4. Conclusion	288
1.3. L'évolution dans les programmes scolaires	288
2. L'évolution en classe de première ES	291
2.1. Le dispositif d'enseignement-apprentissage	291
2.1.1. Premier temps de travail : la situation d'évaluation diagnostique	291
2.1.2. Deuxième temps de travail : une production écrite collective	292
2.1.3. Troisième temps de travail : le débat scientifique	292
2.2. Analyse du processus de problématisation	293
2.2.1. Analyse macroscopique du débat	293
2.2.2. Analyse épistémologico-langagière	297
2.2.2.5. Présentation du groupe 2	310
2.2.3. Conclusion : l'espace « contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat sur les mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES	324
2.3. Discussion	326
2.3.1. La forme narrative des explications produites : outil / obstacle	326
2.3.2. La dynamique de construction de l'explication	329
2.4. Conclusion	336

3. Le concept d'ancêtre commun avec un groupe d'étudiants préparant le concours de professeur des écoles	338
3.1. Intérêt pour la recherche, intérêt didactique	338
3.2. Le dispositif d'enseignement et le corpus de données	339
3.2.1. Le dispositif de formation	340
3.2.2. Les données recueillies	344
3.3. Analyse des productions des étudiants	344
3.3.1. Les productions individuelles de la phase 1	344
3.3.2. Les productions individuelles de la phase 3	347
3.3.3. Les productions de groupe (phase 4)	352
3.4. Analyse épistémologico-langagière et discussion des résultats	355
3.4.1. La présentation de la première affiche et la discussion à son propos	356
3.4.2. La présentation de la seconde affiche	362
3.5. Conclusion	367
4. Conclusion du chapitre 5	369
Chapitre 6. DISCUSSION GÉNÉRALE	373
Introduction	374
I. Le développement du cadre théorique de la problématisation	375
1.1. Problématisation et explication	375
1.1.1. Logique formelle et logique de la découverte pour comprendre les relations entre problématisation et explication	375
1.1.2. Explications et problématizations scolaires dans les cas étudiés	376
1.2. Le développement de quelques points critiques dans le cadre de la problématisation	380
1.2.1. La nouvelle catégorie des « empiriques nécessaires »	381
1.2.2. Enchaînements problématiques et perspective curriculaire	382
2. Les apports des analyses langagières dans la compréhension du processus de problématisation	386
2.1. Des chroniques aux récits : un point de départ pour la problématisation	387
2.2. Secondarisation des chroniques et processus de problématisation	388
2.2.1. Les mécanismes de prise en charge énonciative	388
2.2.2. Réduction de la dissonance entre des énoncés ou entre des voix dans un énoncé et problématisation	391
2.2.3. Argumentation de preuve et problématisation	393
2.2.4. Raisonnements mobilisés par les élèves et problématisation	395
2.2.5. Complémentarité des analyses épistémologico-langagières pour comprendre le processus de problématisation	402
3. Problématisation et obstacles : les apports d'une analyse épistémologico-langagière	407
3.1. L'obstacle fondamental	407
3.2. Les obstacles qui jouent sur les outils cognitivo-langagiers mobilisés par les élèves pour produire une explication scientifique	409
3.2.1. Mise en récit et obstacles à la construction de savoirs scientifiques	409
3.2.2. L'analogie comme preuve dans les raisonnements des élèves	413
3.2.3. Conclusion	413
3.3. Les obstacles liés aux contraintes théoriques mobilisées dans certains raisonnements	414
3.4. Conclusion	415
Conclusion générale	419
Bibliographie	425
Table des annexes	443

Introduction générale

Un récent rapport de l'inspection générale de *sciences de la vie et de la Terre* (SVT), intitulé *Mettre les élèves en activité au collège pour les former, les évaluer, les orienter* indique que « *La capacité à faire dialoguer les faits et les idées, au lieu d'enseigner seulement les résultats de la science, concerne la majorité des professeurs de SVT. Cependant, à une linéarité narrative (c'est le professeur qui raconte) s'est substituée parfois dans les classes une autre forme de linéarité méthodologique : une sorte de caricature de la démarche hypothético-déductive dans laquelle, une fois le problème posé, la classe est conduite artificiellement dans un cheminement expérimental en n'omettant aucune étape, une démarche exhaustive qui manque ce à quoi on doit former et enlève toute crédibilité aux activités proposées. La recherche de l'exhaustivité conduit aussi à des raisonnements bâclés et des observations hâtives. À vouloir faire tout raisonner, on finit, en télescopant les étapes, par faire accepter des raisonnements trop rapides, et donc, à apprendre à mal raisonner* » (France : MÉN, 2007, p. 14-15). Le rapport poursuit sur les causes de ces difficultés rencontrées par les enseignants de SVT de collège.

Ce constat soulève, selon nous, trois questions didactiques fondamentales que nous voulons travailler dans un cadre théorique précis afin de les éclairer (sans forcément rechercher immédiatement des solutions définitives). Pour le dire autrement, nous allons tenter de construire certains de ces problèmes dans le cadre théorique de la problématisation.

1/ ***La question de la signification des savoirs en SVT et des liens avec leurs apprentissages.*** Nous interrogerons notamment la fonction du problème par rapport aux savoirs scientifiques d'un point de vue épistémologique et des relations entre le processus de problématisation et les apprentissages scientifiques. Quelles relations entre savoirs et problèmes dans les sciences et en particulier dans les savoirs

biologiques ? Quel rapport avec l'explication ou les explications en biologie ? Comment penser ces mises en relation savoir-problème dans la classe ? Avec quels outils peut-on les comprendre et les analyser ?

2/ *La question de l'articulation entre l'apprentissage de ces savoirs et l'activité scientifique dans laquelle les élèves sont engagés.* Elle nous conduira à développer, la question de l'articulation entre le travail langagier et le travail des savoirs dans la classe à l'éclairage d'une analyse des fonctions du langage dans le laboratoire de recherche. Quels rôles jouent le langage dans la production scientifique ? Quelles conséquences pour l'activité scientifique scolaire ? Quelles relations entre pratiques langagières et pratiques des savoirs ? Comment penser les relations avec les apprentissages scolaires ?

3/ *La question des liens entre les apprentissages scolaires et les raisonnements menés par les élèves.* Cela pose la question de la façon dont on peut analyser, interpréter les raisonnements des élèves, les mettre en relation avec les savoirs qu'ils cherchent à construire et certains obstacles. Comment les élèves s'engagent-ils dans la construction d'une explication dans le champ des sciences de la vie ? Quelles sont les conséquences sur les raisonnements qu'ils développent ? En quoi ces raisonnements favorisent-ils ou empêchent-ils les apprentissages ?

C'est à une partie de ces questions qui seront reformulées dans notre cadre théorique que cette recherche en didactique des SVT va tenter de s'attaquer à partir de l'analyse de l'activité d'apprentissage d'élèves ou d'étudiants dans des moments de débat scientifique en classe. Cette focalisation ne signifie pas que nous réduisons l'activité scientifique scolaire à la pratique de débat scientifique en classe. En effet, les apprentissages scolaires en SVT nécessitent la mise en œuvre de pratiques diverses (pratiques expérimentales, instrumentales, de communication et d'argumentation) qui interagissent étroitement et conditionnent la construction des savoirs par les élèves. Cependant, les travaux de recherche en didactique des sciences ont montré que les questions soulevées impliquent de s'intéresser à la façon dont les élèves sont en mesure d'accéder, de s'approprier, de construire les problèmes scientifiques explicatifs liés aux savoirs visés. Ainsi, les moments de débat scientifique permettent d'observer la façon dont les élèves peuvent, ou non, construire ces problèmes, ce qui va conditionner en partie leur engagement dans les autres phases du travail scientifique scolaire et au final leurs apprentissages.

Notre recherche s'inscrit dans un programme de recherche développé au *Centre de recherche en éducation de Nantes* qui met l'activité de problématisation au cœur

des apprentissages scolaires. C'est donc à partir du cadre de la problématisation, développé par les travaux de Michel Fabre et de Christian Orange pour le champ des SVT, que nous essaierons de rendre compte de l'activité d'apprentissage d'élèves ou d'étudiants confrontés à des concepts biologiques qui relèvent des deux principaux champs des sciences de la vie : la biologie fonctionnaliste (nutrition) et la biologie historique (évolution des êtres vivants et ancêtre commun hypothétique) afin de mesurer les points communs et les écarts entre les problématisations qu'ils développent dans ces deux champs. Pour cela, notre recherche a une double perspective, prospective et interprétative :

- **prospective** dans la mesure où, sans vouloir régler définitivement la question de la problématisation en SVT, nous souhaitons interroger le cadre de la problématisation en SVT à partir d'un certain nombre de points qui, d'une part, n'ont pas encore fait l'objet d'approfondissements théoriques (comme la question des relations entre explication et problématisation et de ses liens avec les tests empiriques), et, d'autre part, sont critiqués compte tenu du développement de certains travaux conduits dans ce cadre ;

- **prospective** encore puisque nous allons déterminer les conditions qui vont nous permettre de concevoir une méthodologie d'analyse des débats scientifiques qui intègre, en plus de sa dimension épistémologique fondamentale, une dimension langagière. En effet, nous reprenons les hypothèses formulées par l'équipe DAESL du LACES, université de Bordeaux, dont les travaux, issus de collaborations entre didacticiens du français et didacticiens des sciences, font du langage un instrument, une activité, un milieu qui permet aux élèves de construire les modes de penser, parler, agir pertinents pour l'activité scientifique scolaire (Jaubert, 2000, 2007a, 2007b ; Bernié, 2002 ; Rebière, 2000 ; Schneeberger, 2002 ; Schneeberger & Dhouibi, 2006 ; Schneeberger, 2008, à paraître) et tentons de les articuler au cadre théorique de la problématisation ;

- **interprétative** car nous allons mobiliser cet outil d'analyse sur trois débats scientifiques. Ces analyses vont nous permettre de comprendre comment les pratiques de savoir et les pratiques langagières des élèves s'articulent étroitement pour permettre une problématisation scolaire visant des apprentissages biologiques. Elles nous donneront également le matériau qui nous permettra de discuter les avancées théoriques proposées dans les premiers chapitres de notre mémoire.

Le premier chapitre développe le cadre théorique de la problématisation en sciences de la vie. Il tentera d'articuler le concept de problématisation et de

construction de problème en biologie à celui d'explication dans ce champ scientifique. Nous serons amené à discuter des conditions de recevabilité par une communauté scientifique des explications produites, de sa traduction dans notre cadre théorique et de sa transposition dans le cadre scolaire. Cela permettra également d'envisager la place des tests empiriques par rapport à la construction de problème. Nous ferons ensuite appel à une logique du contexte (Meyer, 1979) pour rendre compte de la rationalité du travail heuristique de problématisation. En croisant ces apports épistémologiques à des points critiques du cadre théorique de la problématisation apparus à la suite de certaines recherches en milieu scolaire (Peterfalvi, 2005, 2006 ; Beorchia & Lhoste, 2007 ; Lhoste, Peterfalvi & Orange, 2007), nous proposerons quelques perspectives nouvelles qui devront être mises à l'épreuve de nos études de cas.

Le deuxième chapitre permettra, à partir d'une analyse épistémologique des fonctions langagières dans la mise en texte des explications scientifiques, de présenter une conception du langage à partir de laquelle nous ajouterons un volet langagier au cadre théorique de la problématisation sans le délester, pour autant, de son ancrage épistémologique. Nous indiquerons les outils convoqués pour analyser l'activité langagière des élèves dans des problématisations scolaires.

Dans le troisième chapitre, nous expliciterons nos questions de recherche à la lumière des développements théoriques des chapitres 1 et 2. Nous justifierons la constitution de notre corpus et présenterons la méthodologie mise en œuvre dans les études de cas présentées aux chapitres 4 et 5.

Les deux chapitres suivants présentent trois études de cas : une sur la nutrition (chapitre 4), une sur le concept d'évolution (chapitre 5) et une sur le concept d'ancêtre hypothétique commun (chapitre 5). Pour chaque cas, nous mènerons l'analyse épistémologico-langagière extensive d'un débat mené dans une classe à partir de productions écrites individuelles et collectives. Comme nous cherchons à comprendre comment les pratiques de savoir et les pratiques langagières intimement mêlées participent à la construction de « *savoirs opérants* » (Orange, 1994a), nous réaliserons, pour chaque concept abordé, une analyse épistémologique préalable¹ qui viendra dire la norme des apprentissages dans lesquels sont engagés les élèves : nos analyses seront sous vigilance épistémologique.

¹ Nous reprenons cette notion d'analyse préalable aux méthodologies de travail développées dans le cadre de l'ingénierie didactique (Artigues & Douady, 1986 ; Artigues, 2002), même si nous ne menons pas un travail d'ingénierie didactique.

C'est à partir des résultats obtenus que la discussion générale du chapitre 6 devra reprendre nos développements théoriques et nos questions de recherche pour montrer les apports spécifiques des analyses menées.

Chapitre I. EXPLICATION, PROBLÉMATISATION ET SAVOIRS EN SCIENCES DE LA VIE

Chapitre I. EXPLICATION, PROBLÉMATISATION ET SAVOIRS EN SCIENCES DE LA VIE	17
Introduction	18
1. Science et explication	20
2. Expliquer en sciences	23
3. La justification des explications	27
3.1. Explication et tradition de recherche : style de pensée, paradigme, épistémè	27
3.2. Explication et test empirique	34
3.3. Conclusion	40
4. Une épistémologie de la découverte : problème et explication	41
4.1. Le problème de la découverte	41
4.2. La problématologie ou la possibilité d'une épistémologie de la découverte scientifique	43
4.3. Conclusion : l'explication entre expliquer et comprendre	48
5. Explication et problématisation : positionnement épistémologique	50
6. Conséquences : les apprentissages scolaires en sciences de la vie	54
6.1. Le propositionnalisme du savoir scolaire : savoir et problème	54
6.2. Une conception épistémique classique des enseignants de SVT : le problème réduit à sa fonction de motivation et la primauté de la justification sur la recherche dans la construction des explications	56
6.3. Apprendre les sciences de la vie : explication et problématisation	59
6.4. La problématisation : processus et produit	61
7. Conclusions et première formulation de la question de recherche	85

Introduction

Puisqu'il va être question d'apprentissages dans le domaine des sciences de la vie par des élèves, des étudiants ou des professeurs stagiaires, la première question qui se pose est de déterminer les traits caractéristiques de la connaissance scientifique qui ne constitue, comme le rappelle Veyne (1971/1996, p. 13-14, 21) ou Lyotard, qu'une partie de la connaissance : « *d'abord, le savoir scientifique n'est pas tout le savoir, il a toujours été en surnombre, en compétition, en conflit avec une autre sorte de savoir que nous appellerons pour simplifier narratif* », ainsi « *la science serait un sous-ensemble de la connaissance* » (Lyotard, 1979, p. 18 et p. 36). Cela pose également la question de la relation entre la connaissance non scientifique ou connaissance commune et la connaissance scientifique. Nos recherches s'inscrivant dans le cadre théorique de la problématisation, il conviendra également d'explicitier les relations entre explication, problématisation et savoirs scientifiques, particulièrement dans le champ des sciences de la vie.

Le concept d'explication est encore en débat sur le plan épistémologique et les propos de Largeault : « *Je ne connais pas de théorie satisfaisante de l'explication, et je crois qu'il n'en existe pas* » (1984), sont toujours d'actualité. Une récente synthèse de cette notion présentée par Vergnioux « *ne prétend pas livrer de réponse synthétique aux interrogations qu'elle soulève ni parvenir à une visée unificatrice d'une question dont l'examen [...] relève au contraire la variété des épistémologies en jeu selon les objets traités et les choix méthodologiques* » (2003, p. 11). Ce chapitre n'aura pas non plus une ambition unificatrice, mais il doit permettre de présenter notre positionnement épistémologique et d'explicitier le sens que nous retiendrons pour une explication dans le champ des sciences de la vie et notamment dans son articulation avec le concept de problématisation, à la manière d'un rationalisme régional (Bachelard, 1949).

Dans un premier temps, nous montrerons que, dans le cadre épistémologique qui est le notre, la principale fonction de la science est de produire des explications, concept que nous essaierons de cerner dans une seconde partie. La troisième partie sera consacrée à la justification des explications. La quatrième partie, qui traitera de la question de la découverte de nouvelles explications, devra nous permettre d'articuler le concept d'explication à celui de problématisation. La cinquième partie sera une synthèse des précédentes qui présentera notre positionnement épistémologique par rapport à cette idée d'explication. La sixième partie tentera de pointer les conséquences didactiques de ce positionnement épistémologique. Nous

conclurons sur une première formulation de nos questions de recherche proposée dans la septième partie de ce premier chapitre.

I. Science et explication

La première question que nous souhaitons aborder est celle du but de l'activité scientifique et de la place de l'explication dans celle-ci. Plusieurs écoles de pensée s'affrontent à ce sujet. Nous allons rapidement présenter leurs propositions afin de nous situer dans ces différents courants.

L'école positiviste, qui peut être représentée par les écrits et la pensée d'Auguste Comte pour qui le mot positif désigne « *le réel par opposition au chimérique* » (Lecourt, 1999/2003a, p. 745), refuse d'attribuer à la science le pouvoir d'expliquer. « *Dans l'état positif, l'esprit humain reconnaissant l'impossibilité d'obtenir des notions absolues, renonce à chercher l'origine et la destination de l'univers, et à connaître les causes intimes des phénomènes, pour s'attacher uniquement à découvrir, par l'usage bien combiné du raisonnement et de l'observation, leurs lois effectives, c'est-à-dire leurs relations invariables de succession et de similitudes* » (Comte, 1830, p. 4-5). Halbwachs, précise que l'histoire de l'école positiviste constitue une histoire de l'anti-explication (1973, p. 94). Ainsi les positivistes s'intéressent surtout à déterminer les régularités de la nature pour en inférer des lois (les lois physiques). Le but de la science est de déterminer les lois physiques qui régissent les lois de la nature. À partir de la détermination de ces lois, la science est consacrée à l'action et elle doit faire des prédictions : « *toute science a pour but la prévoyance* » (Comte, 1830, vol II, p. 20) et « *science d'où prévoyance, prévoyance d'où action* » (Comte, 1830, vol. I, p. 51)¹.

La principale critique adressée à la conception positiviste de l'activité scientifique concerne ce que l'on pourrait appeler une confusion entre les moyens et le but de la science. Poincaré précise que nous ne nous résignons pas « *à ignorer le fond des choses* » et cette volonté d'aller au fond des choses prime celui qui nous pousse à agir : « *À mes yeux, c'est la connaissance qui est le but et l'action qui est le moyen* » (Poincaré, 1902/1992, p. 258). De la même façon, Meyerson, qui s'opposa au positivisme, précise que « *pas plus chez le savant que chez l'homme de sens commun, la loi ne suffit à expliquer le phénomène. Elle joue un rôle immense, dans la science, puisqu'elle permet la prévision et, partant, l'action. Mais elle ne contente pas l'esprit qui cherche, au-delà d'elle, une explication du phénomène* » (Meyerson, 1921, p. 49). C'est la même critique que reprend Toulmin qui, après avoir discuté la notion de prédiction, indique que « *la prévision est un savoir-faire, une technique, une application de la science plutôt que la science elle-même* » (1973, p. 40).

¹ Dans ce sens, la théorie néodarwinienne de l'évolution, incapable de faire de prédiction ne serait pas scientifique à moins d'entendre le terme prédire comme synonyme d'expliquer (Toulmin, 1973).

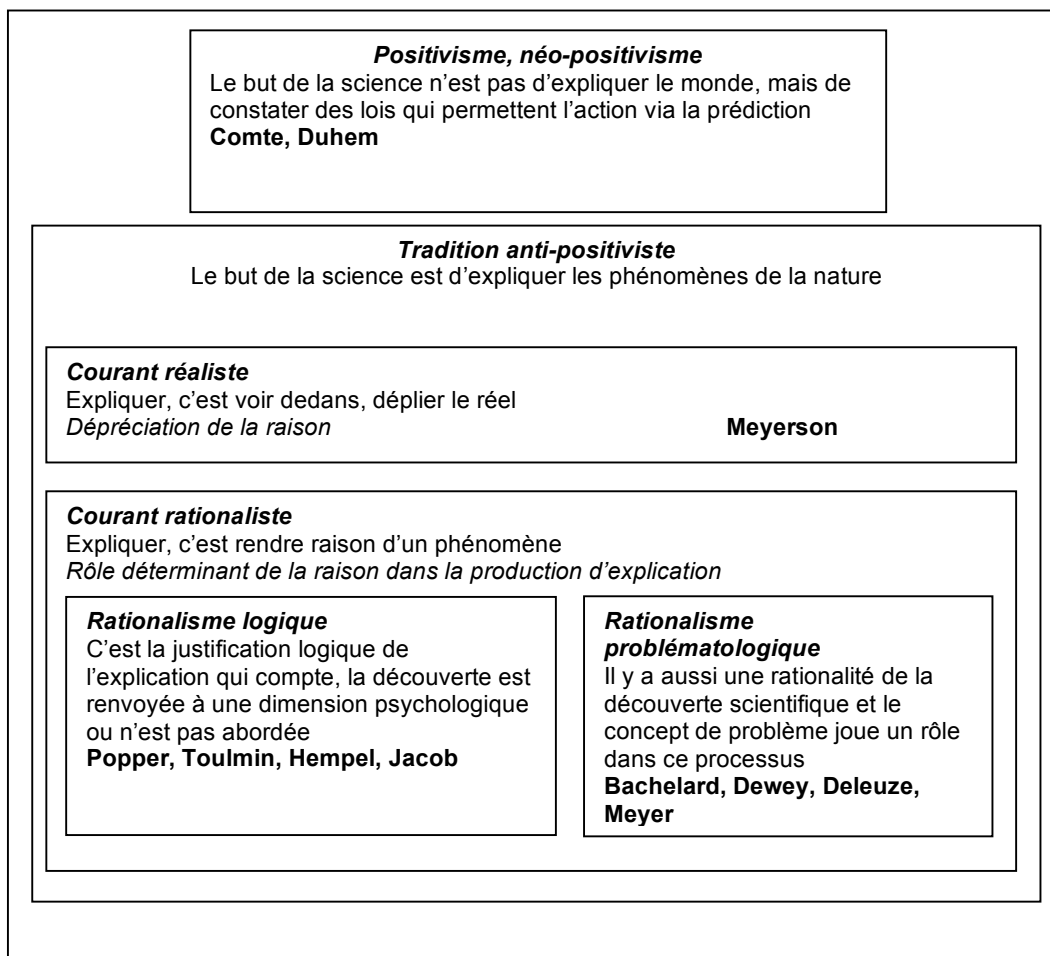
Halbwachs rappelle, au même moment et en s'appuyant sur l'histoire de l'explication en physique, que « *les théories explicatives se fraient malgré tout [malgré la doctrine positiviste] un chemin et triomphent dans l'opinion de la communauté scientifique et chacun de ces triomphes apporte une preuve de la stérilité du positivisme* » (1973, p. 95). Russo qui récapitule les principaux traits de l'histoire de l'explication scientifique note, parmi eux, « *une intensification progressive du désir d'expliquer* », « *une extension progressive du champ des phénomènes où une explication apparaît exister et pouvoir être atteinte* » et « *le désir d'une explication plus profonde et en même temps plus unifiée des phénomènes* » (1984, p. 284-285).

Même si toutes les sciences ne sont pas explicatives (Toulmin, 1973 : « *il n'est même pas exact de dire que toutes les sciences tentent de donner des explications* »), en particulier dans le champ des sciences de la vie avec l'exemple des sciences classificatoires (même si « *nommer, c'est déjà expliquer* » comme le précise Fagot-Largeault [2002, p. 507]), nous pensons que l'activité principale de la science consiste à produire des explications². Cette position s'appuie sur l'avis de scientifiques comme Lowell dans le champ de l'astronomie pour qui « *l'objet entier de la science est d'expliquer et de rendre plus compréhensible l'univers qui nous entoure* » (1912, p.19) ou de Jacob (« *expliquer un phénomène c'est le considérer comme l'effet visible d'une cause cachée, liée à l'ensemble des forces invisibles qui sont censées régir le monde* » [1981, p. 27-28]) et Morange (« *expliquer est certainement la motivation la plus fondamentale dans tout travail scientifique* » [2005, p. 13]) dans le champ des sciences de la vie. Elle s'appuie également sur l'avis d'un certain nombre de philosophes des sciences allant de Meyerson (« *Partout la recherche de l'explication s'établit en maîtresse* » [1921, p. 39] ; « *Ainsi l'existence de la science explicative est un fait, fait que l'on aurait presque envie de qualifier de brutal* » [1921, p. 46]) à Popper (« *le but de la science, c'est de découvrir des explications satisfaisantes de tout ce qui nous étonne et paraît nécessiter une explication* » [1972/1998, p. 297]), Hempel (« *Expliquer les phénomènes de l'univers physique est l'un des objectifs premiers des sciences de la nature* » [1972/2002, p. 72]) et Toulmin (« *La science est principalement un effort pour comprendre ; elle désire rendre le cours de la nature non simplement prévisible mais intelligible* », [1973, p. 113-114]).

Il convient de préciser ce que nous allons désormais entendre sous le terme explication car, même si tous les auteurs cités pensent qu'expliquer est le but de l'activité scientifique, tous n'ont pas la même idée de ce que signifie expliquer (figure 1-1).

² Même l'écologie qui peut paraître comme une discipline d'observation vise à « *détecter et à expliquer les régularités de la nature* » (Haila, 1992/1996, p. 300).

Figure I-1. Le champ épistémologique de l'explication



2. Expliquer en sciences

Le retour à l'étymologie du mot peut nous donner une première indication. Suivons pour cela Meyerson : « *le mot latin plica, qui a fait en français pli, a la même signification que le terme qui en dérive, et expliquer équivaut donc à peu près à déplier, avec cette nuance qu'il s'agit moins de rendre l'étoffe plane et lisse, que de faire sortir, de montrer ce qu'elle cachait dans ses plis* » (1921, p. 3). Selon cette acception, expliquer consisterait à rendre visible ce qui est caché dans la nature ou « *dépouiller la réalité des apparences qui l'enveloppent comme des voiles, afin de voir cette réalité nue et face à face* » pour reprendre la formule de Duhem (1906/1914, p. 3-4) qui, comme positiviste, était opposé à l'idée que le but de l'activité scientifique consistait à rechercher des explications³.

La définition de l'explication de Meyerson, renvoie à une conception réaliste des sciences où l'explication ne serait qu'une copie du réel dévoilé. La connaissance scientifique vise alors « *à pénétrer le véritable être des choses* » (Meyerson, 1921, p. 13). Il précise aussitôt que « *nous savons où la rationalisation complète est impossible, c'est-à-dire où l'accord entre notre raison et la réalité extérieure cesse : ce sont là les irrationnels déjà découverts. Mais nous ne savons pas – et ne saurons jamais – où il existe, puisque nous ne pourrions jamais affirmer qu'il n'y aura plus de nouveaux irrationnels à ajouter aux anciens. C'est ce qui fait que nous ne pourrions jamais déduire réellement la nature, même en tenant compte de tous les éléments donnés et irréductibles, de tous les irrationnels que nous connaissons à un moment précis ; toujours nous aurons besoin de nouvelles expériences et toujours celles-ci nous poseront de nouveaux problèmes, feront éclater, selon le mot de Duhem, de nouvelles contradictions entre nos théories et nos observations* » (1921, p. 225). Meyerson montre lui-même que l'identification qu'il propose échoue car elle « *n'explique pas le divers et que le "réel" reste alors irrationnel* » (Piaget, 1973, p. 8).

C'est cet irrationnel que critique Bachelard. Il définit le réalisme comme une doctrine qui croît « *à la richesse proluxe de la sensation individuelle et à l'appauvrissement systématique de la pensée qui abstrait* » (Bachelard, 1929, p. 206) et le critique lorsqu'il précise que c'est un « *amas de faits et de choses qui [...] lui donne l'illusion de la richesse. Nous montrerons par la suite combien est contraire à tout esprit scientifique le postulat, si facilement admis par certains philosophes, qui*

³ « *La théorie physique ne nous donne jamais l'explication des lois expérimentales ; jamais elle ne découvre les réalités qui se cachent derrière les apparences sensibles* » (Duhem, 1906/1914, p. 35).

assimile la réalité à un pôle d'irrationalité » (1949/1998, p. 6-7)⁴. Nous avons vu que c'est une critique similaire qui est formulée par Piaget pour qui chercher une explication « *c'est admettre implicitement l'insuffisance d'un simple réductionnisme* » (*ibid.*, p. 7) et il assimile la correspondance entre l'explication et le réel à un réductionnisme qu'il qualifie d'interne⁵. Pour ces raisons, la définition donnée par Meyerson de l'explication ne convient pas, car nous pensons que celle-ci repose sur « *la conviction que les seules données de l'observation n'expriment pas toute cette réalité* » (Russo, 1984, p. 283) et nous sommes allé chercher chez Piaget une définition qui nous semble opératoire.

Piaget précise qu'« *expliquer, c'est répondre à la question du "pourquoi", c'est comprendre et non pas seulement constater, autrement dit dégager la "raison" sur le terrain des sciences déductives et la "causalité", bien que le mot soit dangereux, dans le domaine des sciences physiques* » (1973, p. 7). Nous considérons que, dans ce sens, l'explication n'est plus simplement une définition, mais devient un concept puisque « *tout concept renvoie à un problème, à des problèmes sans lesquels il n'aurait pas de sens* » (Deleuze & Guattari, 1991/2005, p. 22). Et ce problème, Piaget l'explique de la façon suivante : « *il s'agit de concilier la nécessité, d'un côté, avec la production des changements ou la construction des nouveautés, d'un autre côté. Autrement dit, il s'agit de comprendre les nouveautés comme nécessaires* » (1973, p. 8-9). Cette façon de formuler le concept d'explication permet de dépasser la critique adressée plus haut à la définition de Meyerson. En effet, il permet de refuser l'irrationnel de Meyerson d'un double point de vue : d'une part en voulant comprendre le divers et, d'autre part, en rendant nécessaire toute nouvelle construction, c'est-à-dire qu'une explication doit dire « *autre chose que ce qu'elle veut expliquer* » (Russo, 1984, p. 380). Et cette « *autre chose* » doit permettre de mieux comprendre ce qui est à expliquer. De plus, cette façon de formuler le problème auquel répond le concept d'explication nous permet de le rapprocher des concepts de nécessité et de contingence, concepts décisifs dans le cadre de la problématisation. L'explication peut ainsi apparaître « *comme un effort non pour abolir toute contingence, mais pour la réduire au maximum, en lui substituant des nécessités* » (Russo, 1984, p. 283). Comme le précise Delattre, on a le sentiment d'expliquer quand on rend compte « *des phénomènes à partir de quelque chose d'autre qu'eux mêmes à quoi on les associe, selon des relations considérées comme*

⁴ Bachelard a critiqué systématiquement la pensée de Meyerson (alors que tous deux s'opposent au positivisme) pour trois raisons dont deux seront présentées dans le texte : son réalisme et sa conception de l'irrationnel, la troisième étant sa vision continuiste de l'histoire des sciences (Lecourt, 1999/2003b, p. 643).

⁵ Le réductionnisme interne peut venir s'ajouter au réductionnisme externe qui correspond pour Piaget à « *l'emboîtement du spécial dans le général, ce qui, bien entendu, n'explique rien, mais se borne à déplacer le problème* » (Piaget, 1973, p. 8).

nécessaires » (1979, p. 113-114). C'est bien dans ce sens, nous semble-t-il, que Bachelard entend l'explication, même s'il n'utilise pas ce terme, en utilisant l'expression « *rendre raison d'un phénomène* » (1949/1998, p. 3) qu'il distingue de la « *simple description d'une organisation* » (*ibid.*, p. 39). Dans le champ des sciences de la vie, Callot (« *expliquer quelque chose, c'est en chercher la raison, et dans l'ordre des phénomènes la raison est la cause, qui dit le pourquoi et le comment de ce qui apparaît* » [1966, p. 150]) et Morange (« *expliquer, c'est faire apparaître des raisons là où il n'y a que des faits* » [2005, p. 32]) proposent des définitions du mot expliquer proches du concept défini par Piaget, même si elles rendent moins bien compte du problème qu'il pose.

La double exigence paradoxale de l'explication soulignée par Piaget, celle d'assurer la construction de nouveauté et de les rendre nécessaire, pourrait renvoyer, en première approximation, à deux dimensions dans la construction d'une l'explication en sciences : celle de sa construction et celle de sa justification. Même si, comme l'ont montré les travaux récents en sociologie et philosophie des sciences⁶, ces deux dimensions entremêlées dans le travail scientifique n'ont pas de pertinence pour proposer un découpage de l'activité scientifique (prémisse d'une méthodologie scientifique).

Cependant, il nous semble que ces deux dimensions complémentaires peuvent nous permettre de faire, sur le plan épistémologique, des distinctions par rapport à ce qu'expliquer veut dire. D'une part, il convient de saisir la nouveauté et de pouvoir en rendre compte (Vergnioux, 2003, p. 21) : cela renvoie à une épistémologie de la recherche, lorsque le scientifique pose des questions, émet des hypothèses (qui sont des tentatives d'explication). D'autre part, il s'agit d'établir la nécessité de la réalité en question et cela passe par la mise en œuvre de raisonnements déductifs-nomologiques, c'est une épistémologie de la justification et de la mise en forme des résultats. C'est en cela que l'activité scientifique se distingue des grands mythes, par exemple, qui fournissent également des explications du monde⁷, mais également de la connaissance commune. Ainsi, comme Parain-Vial le précise : « *ce qui distingue les sciences de l'opinion et de la connaissance vulgaire (...) c'est plus encore que la rigueur de leur logique et de leurs système conceptuel, leur souci de vérification* »

⁶ Clarke et Fujimura précisent que les travaux des sociologues et des philosophes des sciences (qui ont adopté des approches constructivistes) ont montré que la « *dichotomie entre les deux "contextes"* [celui de découverte et celui de justification] [est] *un dualisme erroné* » (1996, p. 18).

⁷ « *L'enquête scientifique commence toujours par l'invention d'un monde possible, ou d'un fragment de monde possible. Ainsi commence aussi la pensée mythique. Mais cette dernière s'arrête là. (...) Pour la science, il y a beaucoup de monde possible, mais le seul intéressant est celui qui existe et qui, depuis longtemps déjà, a fait ses preuves. La démarche scientifique confronte sans relâche ce qui pourrait être et ce qui est* » (Jacob, 1981, p. 28-29).

(1985, p. 73). Les explications produites par la science doivent s'appuyer, comme le précise Hempel, « *de façon claire et logique sur l'expérience* », ce qui signifie qu'elles doivent « *être soumises à des tests objectifs* » (1972/2002, p. 74). Hempel en déduit deux conditions auxquelles doivent répondre toute explication scientifique : une exigence de pertinence dans l'explication et une exigence de testabilité, c'est-à-dire que « *les propositions qui constituent une explication scientifique doivent pouvoir se prêter à des tests empiriques* » (1972/2002, p. 76).

Nous commencerons par présenter une épistémologie de la justification des explications avant de présenter une épistémologie de la découverte. Dans la section suivante qui s'intéresse à la justification des explications, nous essaierons de déterminer ce qu'est une explication pertinente et en particulier ce qu'est une bonne explication dans le champ des sciences de la vie, puis de traiter de la question de la testabilité des explications.

3. La justification des explications

Deux éléments interviennent dans l'idée de justification des explications produites, pour reprendre les propositions d'Hempel : qu'elles soit pertinentes et mises à l'épreuve.

Le premier point pose la question du format des explications produites, formats qui seront ou non acceptables pour une communauté scientifique à un moment donné de son histoire. L'objectif de la section 3.1. est de nous donner des outils qui seront mobilisés lorsque nous envisagerons la question de la transposition du travail scientifique en classe.

Le second point devra nous donner des pistes de réflexion pour envisager les relations entre les moments de problématisation et les moments d'investigation empirique. Quelle articulation entre ces temps du travail scientifique en classe ?

3.1. Explication et tradition de recherche : style de pensée⁸, paradigme, épistémè

Les travaux des historiens des sciences montrent comment, ce que les scientifiques considèrent comme une explication satisfaisante, a varié au cours de l'histoire.

Plusieurs points de vue peuvent éclairer l'idée de pertinence d'une explication scientifique. L'approche culturelle des savoirs scientifiques développée par Fleck le conduit à proposer qu'« *il existe un lien conforme à un style entre tous les concepts d'une époque – ou beaucoup d'entre eux - ; lien qui repose sur l'influence réciproque s'exerçant entre ces concepts. C'est pourquoi nous pouvons parler d'un style de pensée, qui commande le style de chaque concept* » (1935/2008, p. 2). Ce style de pensée est le produit d'un collectif de pensée⁹, concept qui permet à Fleck

⁸ Le concept de style de pensée auquel nous allons faire référence renvoie aux travaux de Fleck (1935/2008) et non à ceux de Crombie (1994). Pour une discussion sur la différence entre ce concept chez les deux auteurs, voir Hacking, 2006.

⁹ Fleck définit le collectif de pensée « *comme la communauté des personnes qui échangent des idées ou qui interagissent intellectuellement* », « *nous tenons en lui le vecteur du développement historique d'un domaine de pensée, d'un état du savoir déterminé et d'un état de culture, c'est-à-dire d'un style de pensée particulier* » (1935/2008, p. 74). Il convient de préciser que le terme de collectif de pensée englobe, pour Fleck, toutes les pratiques qu'elles soient théoriques ou méthodologiques.

d'élaborer une théorie de la connaissance qui introduit le collectif de pensée comme troisième terme entre « *celui qui connaît et ce qui est à connaître* » (*ibid.*, p. 73) puisque selon lui, « *l'acte cognitif n'est en aucun cas le processus individuel d'une "conscience" théorique "existant de toute façon" ; il est le résultat d'une activité sociale* » (*ibid.*). Même si l'on peut voir en Fleck un précurseur de l'introduction d'une dimension sociologique dans l'étude de la construction des savoirs scientifiques¹⁰, il s'en distingue pourtant puisque ce n'est pas l'étude du contexte sociologique du travail scientifique qui intéresse Fleck, mais l'influence d'un collectif de pensée sur le contenu des sciences, c'est-à-dire en quoi le social peut produire des contraintes logiques¹¹ : le style de pensée c'est « *une force contraignante spécifique s'exerçant sur la pensée et plus encore : c'est la totalité de ce qui est intellectuellement disponible, la disposition pour telle manière de voir ou d'appréhender et non pas telle autre* » (Fleck, 1935/2008, p. 115-116). Ainsi comme le précise Löwy (2005/2008, p. XXVII), le style de pensée permet à la fois aux chercheurs de « *retrouver l'ordre dans le chaos initial des observations faites* » mais également de les insérer dans le savoir déjà constitué, il a donc une fonction à la fois productive et constructive.

Il y a une filiation contestée¹² entre cette idée de style de pensée et les paradigmes de Kuhn (1962/1983)¹³. Kuhn dans la postface à la seconde édition de son livre précise ce qu'il entend précisément par paradigme en le distinguant du concept plus large qui l'englobe de « *matrice disciplinaire* ». La matrice disciplinaire comporte :

- les « *généralisations symboliques* »¹⁴ ;
- la « *partie métaphysique des paradigmes* »¹⁵

¹⁰ Il partage avec le « *programme fort* » de Bloor (Pestre, 2006), le même souci apporté à la pratique scientifique, l'intérêt pour la science en action, un anti-empirisme, le rejet d'une analyse seulement logique des catégories de pensée pour la raison simple et même le principe de symétrie de Bloor (« *l'affirmation [...] que l'on a le droit d'appliquer les catégories du vrai et du faux aux idées anciennes, est erronée* » [Fleck, 1935/2008, p. 51]) (Latour, 2005/2008, p. 253-254).

¹¹ Sensevy et Santini indiquent que le terme de logique doit être entendu dans une « *acception de ce dernier terme qui n'est pas celui de la logique mathématique, mais celui de la grammaire des pensées et des actions au sens de Wittgenstein (1953/2004)* » (2006, p. 173).

¹² Kuhn cite d'ailleurs le livre de Fleck dans l'introduction de *La structure des révolutions scientifiques* (1962/1983, p. 9), même si Latour dans une postface au livre de Fleck indique que « *Le "collectif de pensée" ne serait qu'une préfiguration maladroite de célèbre "paradigme"* » (2005/2008, p. 252).

¹³ Et dans son prolongement, celle du programme de recherche de Lakatos (1994). Lakatos et Kuhn sont en désaccord sur leur appréciation de la distinction entre science et non-science. Lakatos, qui présente le programme de recherche comme une amélioration du cadre de Popper, est ancré dans une tradition plutôt rationaliste alors que la position de Kuhn est plutôt relativiste.

¹⁴ « *Ce sont les expressions employées sans question ou dissensions par les membres du groupe* » (Kuhn, 1970/19883, p. 248)

¹⁵ « *Le fait d'adhérer collectivement à certaines croyances* » (*ibid.*, p. 250).

- les « valeurs » qui donnent un sentiment d'appartenance à un groupe (plus large en général que celui qui adhère aux mêmes généralisations symboliques) et permettent une évaluation des théories ;
- ce que Kuhn considère comme le paradigme au sens strict, c'est-à-dire les « exemples », « les solutions concrètes de problèmes que les étudiants rencontrent, dès le début de leur formation scientifique, soit dans les travaux de laboratoire, soit comme sujet d'examen, soit à la fin des chapitres scientifiques » (1962/1983, p. 254).

Pour Kuhn, les paradigmes sont incommensurables¹⁶ et le passage d'un paradigme à l'autre, au cours d'une période de révolution scientifique, relève d'une conversion puisque ce n'est pas avec des preuves (*ibid.*, p. 204 et 270) que l'on peut emporter l'adhésion de la communauté scientifique. Kuhn articule également le paradigme avec l'idée de science normale (*ibid.*, p. 30) qui « désigne la recherche solidement fondée sur un ou plusieurs accomplissements scientifiques passés, accomplissements tels que le groupe scientifique considère comme suffisant pour fournir le point de départ d'autres travaux » (*ibid.*, p. 29). Le paradigme guide, à la fois, le développement des recherches et les normes puisqu'une explication pertinente devra s'inscrire dans les types d'explication admis à l'intérieur d'un paradigme.

Pour Fleck, dont les styles de pensée n'ont pas la caractéristique englobante des paradigmes kuhnien¹⁷, un même individu peut appartenir à plusieurs collectifs de pensée. La circulation des idées entre les différents collectifs de pensée (s'ils ne sont pas trop éloignés les uns des autres) peut provoquer une « transformation du style de pensée – c'est-à-dire une transformation de la disposition pour une perception dirigée » et « donne de nouvelles possibilités de découvertes et crée de nouveaux faits » (Fleck, 1935/2008, p. 191)., Alors que les paradigmes se remplacent et ne s'accumulent pas, il y a accumulation des styles de pensée notamment au niveau phénoménotechnique.

Enfin, l'approche archéologique de Foucault (1966, 1969) mise en œuvre sur différents champs disciplinaires (dont l'histoire naturelle) lui a permis de mettre en évidence des épistémés qui déterminent l'ensemble des conditions de possibilité du développement des connaissances et des théories¹⁸. Même si l'approche de Foucault

¹⁶ « Les adeptes d'un paradigme concurrent ne s'entendent jamais complètement, aucun des partis ne voulant admettre toutes les suppositions non empiriques dont l'autre a besoin pour rendre valable son point de vue » (Kuhn, 1962/1983, p. 210).

¹⁷ Même si dans certains exemples développés par Kuhn, le paradigme peut concerner un petit champ scientifique comme dans l'exemple de la découverte des rayons X.

¹⁸ « C'est plutôt une étude qui s'efforce de retrouver à partir de quoi connaissances et théories ont été possibles ; selon quel espace d'ordre s'est constitué le savoir ; sur fond de quel a priori historique et dans l'élément de quelle positivité des idées ont pu apparaître, des sciences se

possède également une dimension culturelle, elle se situe à une échelle plus macroscopique que celle de Fleck et celle de Kuhn. L'épistémé correspond alors à « *l'ensemble des relations qu'on peut découvrir, pour une époque donnée, entre les sciences quand on les analyse au niveau des régularités discursives* » (Foucault, 1969, p. 250). L'échelle des épistémés est celle des longues périodes historiques et des relations entre différents champs de savoirs, à partir d'une analyse des pratiques discursives vues comme conditions de possibilité externes (Davidson, 2001/2005) du développement de différentes sciences¹⁹.

Ils ne s'agit pas, après avoir constaté que ces concepts sont différents et complémentaires les uns des autres, de préférer l'un de ces outils d'analyse par rapport à un autre, mais d'indiquer à quel type de question tel ou tel outil d'analyse convient le mieux. Ainsi, nous ferons, au fil de ce travail, référence à l'un ou l'autre de ces concepts en fonction de ce que nous souhaiterons mettre sous observation ou éclairer.

Fleck et Kuhn font référence au rôle important de la formation des scientifiques dont une part importante consiste à apprendre à reconnaître ce qu'est une bonne explication en référence à un paradigme ou à un style de pensée. Morange précise qu'« *il n'y a pas "dans l'absolu" de bonne explication, mais qu'une explication n'est satisfaisante que dans un contexte particulier : qu'elle est toujours le résultat de choix, qui consistent à définir ce qui doit être expliqué et comment l'expliquer* » (Morange, 2005, p. 22). Tous les scientifiques ou philosophes qui s'intéressent au concept d'explication insistent sur l'importance du contexte pour comprendre pourquoi des explications ont pu, à un moment ou à un autre, être considérées comme des explications pertinentes. Halbwachs précise que c'est l'affaire des épistémologues de « *dégager pour chaque époque une structure plus générale et plus fondamentale sous-jacente aux paradigmes dominants, une sorte de paradigme des paradigmes, qui sera proprement le type d'explication caractéristique de cette époque* » (1973, p. 75). Keller Fox précise que « *la diversité des critères selon lesquels les explications sont jugées peut en grande partie se comprendre en examinant les pratiques locales (les techniques, les instruments et les systèmes expérimentaux) d'une sub-culture scientifique particulière* » (2004, p. 14). De ce

constituer, des expériences se réfléchir dans des philosophies, des rationalités se former, pour, peut être, se dénouer et s'évanouir bientôt » (Foucault, 1966, p. 13).

¹⁹ Davidson (2001/2005) rappelle la distinction établie par Foucault entre deux ordres de conditions de possibilité : les conditions de possibilité internes qui relèvent de l'épistémologie et les externes de l'archéologie. Les premières sont relatives à un domaine scientifique particulier et cherchent à comprendre les règles que doivent respecter un énoncé particulier pour pouvoir appartenir à cette science, alors que les secondes correspondent à la « *possibilité d'une science dans son existence historique* » (Foucault, 1994a, p. 724).

point de vue, elle serait assez proche de l'idée de collectif de pensée développée par Fleck, à condition d'ajouter les pratiques théoriques aux pratiques locales.

De plus, les différents auteurs auxquels nous nous référons (Halbwachs, Morange, Keller-Fox) montrent qu'il existe, à un moment donné, plusieurs types d'explication. Morange, en référence en creux aux « *schèmes d'intelligibilité* » de Berthelot²⁰ (1990), développe l'idée de « *schèmes explicatifs* » (Morange, 2005, p. 24) qui peuvent être pertinents. Les auteurs cités insistent aussi sur l'idée que différents schèmes explicatifs sont généralement imbriqués pour rendre raison d'un phénomène. Morange parle de polyphonie explicative en biologie « *qui ne peut et ne doit être réduite* » (2005, p. 17), sans doute parce que la nature n'est pas homogène. Il nous semble également que, de ce point de vue, les auteurs sont assez proches du concept de style de pensée de Fleck, avec des modifications possibles lors de la circulation d'idées d'un collectif de pensée à un autre. Regardons, à présent, les différentes typologies d'explication identifiées dans la littérature. Deux types de travaux seront convoqués : ceux qui abordent la question d'un point de vue historique et qui mettent en relation les grands types d'explication avec les épistémés de certaines périodes historiques (travaux d'Halbwachs) ; ceux qui abordent la question dans le cadre de l'épistémé actuelle, c'est-à-dire de la façon dont nous pouvons penser les sciences dans la période contemporaine (Cellérier, Morange).

Halbwachs présente trois types élémentaires d'explication : hétérogène, homogène et bathygène. Le premier type : l'explication hétérogène ou causale « *consiste à faire intervenir l'action du monde extérieur sur le système* » (1973, p. 78)²¹. Lorsque c'est une cause extérieure unique qui est responsable d'un phénomène, il parle alors de « *détermination causale* » (*ibid.*). Dans une explication homogène, il n'y a plus de cause, ni d'effet et « *les changements du système s'expliquent [...] en trouvant et en exprimant une loi* » (*ibid.*)²². Ce sont alors des lois qui expliquent les changements observés et c'est bien en cela qu'il y a explication. Enfin, les explications bathygènes font appel à « *des changements qui s'effectuent à un niveau plus profond, où la description du système est plus fine et*

²⁰ On trouve le terme « *schème explicatif* » chez Berthelot (1990, p. 21) et il nous semble synonyme, dans le champ scientifique, du schème d'intelligibilité dans le champ du social, défini par Berthelot comme un lieu intermédiaire spécifique de la construction de la connaissance, « *à l'aval des grands principes recteurs et en amont des constructions conceptuelles* » (*ibid.*, p. 22).

²¹ C'est l'action de l'air (agent) sur la colonne de mercure qui explique l'ascension du mercure (patient) dans la chambre barométrique de Torricelli : c'est une explication hétérogène (cause -> effet)

²² La relation entre le gradient de pression et le poids est déduite d'une loi, la loi de Boyle-Mariotte qui rend compte de cette relation : c'est une explication homogène.

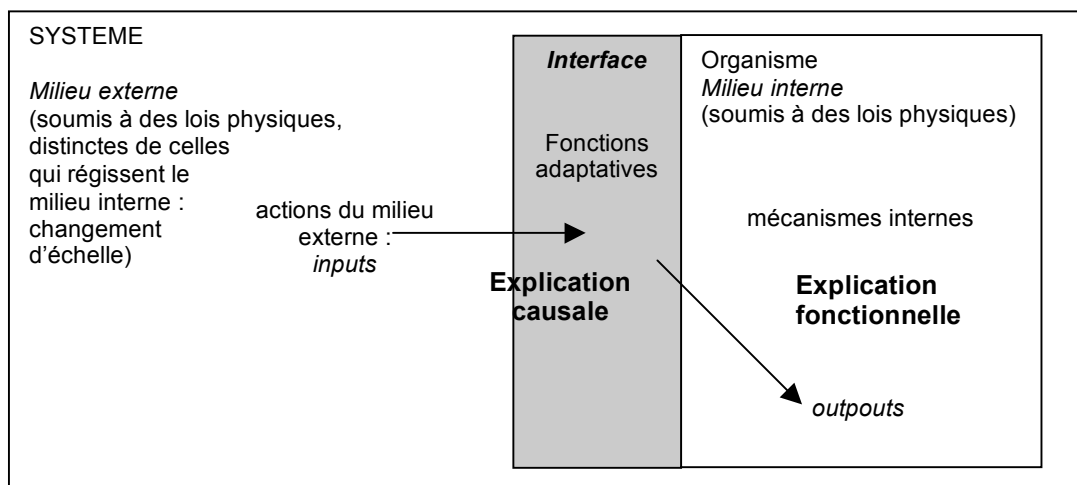
fait appel à un plus grand nombre de variables » (*ibid.*, p. 81)²³. Halbwachs parcourt rapidement l'histoire des modes d'explication au cours de cinq périodes de l'histoire de la physique. Il montre que ces types élémentaires d'explication ont alterné au cours de l'histoire et se combinent dans la période récente, rejoignant par là l'idée de polyphonie explicative développée par Morange. L'intérêt de cette typologie est qu'elle permet de rendre compte des différents styles de pensée et des différents types d'explication qui se sont succédés au cours de l'histoire des sciences. Par contre, elle rend moins la spécificité des sciences de la vie qui, pour reprendre la distinction de Mayr (1982), demandent d'une part « *comment ça marche* » et, d'autre part, « *pourquoi c'est comme ça* ». En nous plaçant maintenant dans l'épistémé contemporaine, nous allons essayer d'avancer à propos de la question suivante : de quelle nature sont les explications en biologie fonctionnaliste et en biologie historique ?

Les typologies de Cellérier (1973) et de Morange (2005) n'ont pas l'ambition de montrer la succession des explications en biologie, mais permettent de décrire les explications qui peuvent être, actuellement, considérées comme pertinentes dans le champ des sciences de la vie.

Ainsi, Cellérier précise que « les biologistes passent en fait constamment de l'explication fonctionnelle à l'explication causale, et réciproquement » (1973, p. 122). C'est la spécificité de la biologie « où les moyens et les fins, c'est-à-dire les formes, sont fortement liés à la nature de leurs contenus, donc aux propriétés physico-chimiques de leurs substrats matériels » (*ibid.*) qui l'explique, selon lui. La figure 1-2 présente une tentative de modélisation de la typologie de l'explication proposée par Cellérier pour qui « l'explication revient à montrer comment les mécanismes internes sont agencés, leurs lois d'interaction physiques contrôlées et exploitées de façon à calculer certains "outputs" lorsque le système reçoit les actions du milieu externe à titre d'"inputs" » (*ibid.*, p. 123).

²³ La loi de Boyle-Mariotte peut être expliquée au niveau moléculaire par les théories de Boltzmann : plus les molécules sont serrées, plus les chocs entre elles sont nombreux et plus la pression est forte. C'est une explication bathyène.

Figure 1-2. La modélisation de l'explication en biologie de Cellérier (1973, p. 122-123)



Cellérier conclut que l'explication en biologie est toujours à l'articulation entre les questions de flux d'énergie et celles de flux d'informations. Ce modèle permet de rendre compte de la dimension fonctionnaliste des sciences de la vie, mais pas de sa dimension historique.

Morange présente trois modes d'explication qui coexistent actuellement dans le champ des sciences de la vie. Il distingue des explications de type mécaniste, des explications de type darwinien et des explications de type physique non causal. Les premières correspondent à l'« *établissement d'une chaîne de causalité, dont chaque maillon correspond à une interaction entre une ou quelques molécules* » (2005, p. 51). Les explications darwiniennes correspondent à une forme d'explication rendue nécessaire par l'existence d'une dimension historique dans le champ des sciences de la vie, à côté de la biologie fonctionnaliste à laquelle faisait uniquement référence Cellérier. Morange précise que ce type d'explication ne se comprend « *qu'en référence aux explications finalistes qu'elles ont chassées* » (*ibid.*, p. 71). Alors que l'explication finaliste consiste à dire qu'un organe (ou une fonction) est apparu(e) parce qu'elle permettait de remplir tel rôle (ou telle fonction), une explication darwinienne rend compte de l'apparition d'un élément quelconque (fonction, organe) par l'avantage reproductif qu'il confère aux individus qui le porte par rapport aux individus « *qui ne le portaient pas dans un environnement temporel et spatial particulier* » (*ibid.*, p. 70). Enfin, le dernier type d'explication, de type physique non causal, se distingue de l'explication de type mécaniste du fait que dans ce cas, « *le temps, en tant que succession d'évènements, n'intervient pas* » (*ibid.*, p. 95). Les explications de type physique non causal reposent alors sur l'existence de contraintes atemporelles, comme les contraintes énergétiques et thermodynamiques

qui régissent le sens des réactions chimiques qui participent du métabolisme par exemple. Le tableau 1-1 présente une mise en correspondance de ces différentes typologies.

Tableau 1-1. Correspondance entre différents types d'explication (Halbwachs, Cellérier, Morange) dans le champ des sciences de la vie

Auteurs	Types d'explication			
Halbwachs	Hétérogène	Homogène	Bathygène	
Cellérier	Causale (action du milieu externe sur le milieu interne)	Lois qui régissent le milieu interne et externe	Fonctionnelle (agencement du milieu interne)	
Morange		physique non causal	Mécaniste	darwinien
	<i>Dimension fonctionnaliste des sciences de la vie</i>			<i>Dimension historique des sciences de la vie</i>

Les différents types d'explication reconnus aujourd'hui dans le champ des sciences de la vie viennent normer l'activité des scientifiques, normes qui peuvent leur donner le sentiment d'avoir expliqué²⁴ un ou des phénomènes biologiques.

Cependant, comme le précise Hempel, l'exigence de pertinence d'une explication est une condition nécessaire, mais pas suffisante (1972/2002, p. 75) pour que celle-ci soit acceptée. Il faut, également, que l'explication soit mise à l'épreuve des tests empiriques. Cela pose la question des liens entre explication et investigation empirique, et de la spécificité de ces liens dans un champ scientifique particulier, celui des sciences de la vie.

3.2. Explication et test empirique

Comme Wolff le précise, c'est « *la découverte d'une méthode adaptée à la vérification d'une hypothèse qui constitue la phase capitale de la découverte* » (1966, p. 121). C'est ainsi que Wolff attire notre attention sur le fait que pour déterminer les modalités de mise à l'épreuve des explications produites, il faut nécessairement prendre en compte la spécificité des objets biologiques étudiés. Cela vient contraindre le format des tests empiriques pratiqués. Dans le champ des sciences de la vie, celui-ci varie selon que l'on s'occupe de taxonomie, d'éthologie, d'écologie, de physiologie ou de biologie évolutive. L'expérimentation, même si elle

²⁴ « *Le sentiment d'avoir expliqué est lié à l'usage d'une catégorie d'intelligibilité propre à une science* » (Ladrière, 1948, p. 118).

joue un rôle déterminant dans les avancées scientifiques, ne constitue pas la seule approche empirique pratiquée par les scientifiques. Compte tenu de l'importance de l'expérimentation dans la biologie fonctionnaliste, nous nous intéresserons principalement à elle.

3.2.1. Spécificités de l'expérimentation en biologie fonctionnaliste

Une partie importante de la biologie fonctionnelle²⁵ repose sur des expérimentations²⁶ : « *comme le montre Claude Bernard, ce n'est que par l'expérimentation que l'on peut découvrir les fonctions biologiques* » (Canguilhem, 1965/2003, p. 23). Mais il convient de replacer le sens du mot expérience (apparu au du XII^e siècle), dans les sciences de la vie, dans une perspective historique, puisqu'il s'est déplacé entre le moment de son apparition et celui de la science actuelle. Dans un premier temps (milieu du XVII^e siècle), l'expérience était conçue comme une collection de faits et ce n'est qu'au XVIII^e siècle (première partie du XVIII^e siècle) que l'expérience renvoie à un montage expérimental conçu à des fins de vérification (Salomon-Bayet, 1978)²⁷. Ce premier déplacement peut-être mis en relation avec l'introduction la méthode analytique²⁸ dans le champ de l'histoire naturelle. Elle consiste à « *découper la réalité en autant de partie qu'il était nécessaire pour que l'objet retenu pour l'étude soit simple* » (Legay, 1997, p. 14).

Une deuxième étape, dans cette histoire de l'expérience en biologie, renvoie à l'apport de Claude Bernard. Sur le plan méthodologique, Bernard, dans *l'Introduction à la médecine expérimentale*, présente la démarche expérimentale. Il la décrit comme une dialectique entre faits expérimentaux et idées²⁹. C'est pour cela que Grmek (1973/1991, p. 53) inscrit Claude Bernard dans une tradition

²⁵ L'écologie qui fait partie intégrante de la biologie fonctionnelle, même si elle ne repose pas principalement sur l'expérimentation, tend pourtant à s'appuyer sur cette méthodologie (Haila, 1992/1996).

²⁶ « *L'expérimentation, ou l'art d'obtenir des expériences rigoureuses et bien déterminées, est la base pratique et en quelque sorte la partie exécutive de la méthode expérimentale appliquée à la médecine* » (Bernard, 1865, p. 8).

²⁷ « *Un siècle a été nécessaire pour passer de "l'espèce de métaphysique expérimentale" du médecin Perrault à la "méthode expérimentale" du chimiste Macquer* » (Salomon-Bayet, 1978/2008, p. 432). « *Il a fallu à peu près le même long temps pour renverser le rapport de l'observation à l'expérience* » (*ibid.*, p. 433)

²⁸ « *Face à ce qu'on croyait être le chaos, le sursaut cartésien [introduction de la méthode analytique] a été véritablement révolutionnaire* » (Legay, 1997, p. 14).

²⁹ Hacking précise que « *toute l'aventure des sciences expérimentales depuis le XVII^e siècle réside dans ce dialogue entre représentation [ce qui renvoie à la théorie] et intervention [renvoyant à l'expérience]* » (1983/1989, p. 242).

rationaliste³⁰ (distincte de celle de Descartes « *par le recours constant à l'épreuve des faits* » [*ibid.*, 1973/1991, p. 53]), à l'encontre de nombreuses critiques faites, souvent à tort, de son positivisme³¹.

Canguilhem partage cet avis (il qualifie la doctrine de Bernard d'« *expérimentalisme rationnel* », 1968/1989, p. 169) quand il indique que l'apport de Bernard, avec d'autres scientifiques de la première partie du XVIII^e siècle, est d'établir un lien entre « *l'institution de l'expérience à [et] la vérification des conclusions d'une théorie* » (Canguilhem, 1965/2003, p. 23). Ce qui distingue Claude Bernard, relève Canguilhem, c'est sa réflexion sur les restrictions apportées à l'approche cartésienne, en lien avec la spécificité des objets biologiques. Elles vont permettre de comprendre les évolutions prises par l'expérimentation en biologie dans les périodes plus récentes (en particulier au cours du XX^e siècle). Les quatre principales restrictions relevées par Canguilhem (*ibid.*), à partir de sa lecture des travaux de Comte sur la biologie et de Claude Bernard, sont les suivantes :

- *la spécificité* des objets de l'expérience ou de l'observation limite la généralisation logique. En effet, ce que l'on peut observer comme réponse à une expérimentation chez un individu au sein d'une espèce n'est pas forcément la réponse de tous les autres êtres vivants³². Cela pose la question du choix des objets étudiés qui, d'une part, oblige à formuler des réserves à toute généralisation d'acquisition expérimentale et, d'autre part, limite les possibilités expérimentales³³ ;
- *l'individualisation* : « *à l'intérieur d'une espèce vivante donnée, la difficulté tient à la recherche de représentants individuels capables de soutenir des épreuves d'addition, de soustraction ou de variation mesurée des composants supposés d'un phénomène* » (*ibid.*, p. 34). Du point de vue de la recherche, cela

³⁰ Canguilhem précise que l'on ne peut « *comprendre les motifs de l'obstination de Cl. Bernard à préconiser et à promouvoir une technique expérimentale* » uniquement en se référant au concept de milieu intérieur, car « *c'est le concept de milieu intérieur qui est donné comme fondement théorique à la technique de l'expérimentation physiologique* » (1968/1989, p. 147-148). Il indique plus loin que « *son expérimentalisme n'est ce qu'il est que par sa relation à des théories explicatives des phénomènes physiologiques dont les uns sont par lui reçues et acceptées et d'autres construites par lui-même* » (*ibid.*, p. 168).

³¹ Canguilhem précise que c'est la lecture de *l'Introduction de la médecine expérimentale*, indépendamment des autres recueils de Bernard qui conduit, trop souvent, à présenter sa pensée comme une vérification d'une recommandation d'Auguste Comte (Canguilhem, 1968/1989, p. 147). Prochiantz pointe aussi que Bernard s'oppose à « *la pensée du père du positivisme, quand celui-ci assigne pour tâche à la philosophie positive de faire le lien entre toutes les disciplines spécialisées* » (Prochiantz, 1990, p. 60).

³² Canguilhem relève des écarts entre variétés au sein d'une même espèce, des écarts entre espèces (1965/2003, p. 32-33).

³³ « *En biologie, le choix de l'organisme à étudier présente une importance considérable. D'abord parce que la nature même d'un animal, sa structure, sa physiologie limitent les possibilités de recherche à certains types d'expérience. Ensuite, parce que, au fil du temps, à mesure que s'accumule la connaissance, on devient en quelque sorte prisonnier de ce qu'on fait et de ce qu'on sait* » (Jacob, 1997, p. 88).

pose la question de l'obtention d'individus les plus proches les uns des autres afin de pouvoir faire des comparaisons³⁴ ;

- *la totalité* provient de la grande intégration, au sein de l'organisme vivant, liée à la polyvalence des organes. Cela pose la question suivante : « *il n'est pas certain qu'un organisme, après ablation d'organe, soit le même organisme diminué d'un organe* » (*ibid.*, p. 35). Selon Jacob (1970, p. 99), c'est une conséquence de l'introduction du concept d'organisation au cœur du monde vivant³⁵ ;

- *l'irréversibilité*. Même si un être vivant est difficilement comparable à un autre, celui-ci n'est pas non plus automatiquement comparable à lui-même à différents moments de son existence. Cette caractéristique, associée à l'individualisation, « *vient limiter la possibilité de répétition et de reconstitution des conditions déterminantes d'un phénomène, toutes choses égales d'ailleurs* » (*ibid.*, p. 38).

Ces différentes difficultés qui émergent des travaux de Bernard, et qui n'ont pas forcément eu de solutions concrètes immédiates, n'ont pas limité ses découvertes notamment parce que les résultats obtenus restent très généraux et restent intelligibles dans le cadre « *d'un schéma épistémologique une cause → un effet* » (Legay, 1997, p. 15). C'est lorsque la science progresse et précise ses connaissances que la possibilité d'isoler un facteur et de négliger l'action de l'expérimentateur décroît (Blandin, 1975).

La prise en compte de ces différentes restrictions ne devient fonctionnelle qu'avec l'introduction des statistiques dans l'expérience qui font leur entrée en réponse à des problèmes agronomiques (*ibid.*, p. 16)³⁶. La réponse apportée par Fischer à la question qui lui était posée (la variété de pommier A est-elle meilleure que la variété B ?) est révolutionnaire dans le sens où elle abandonne le schéma épistémologique une cause → un effet. Cela ouvre la voie à la prise en compte de la complexité relevée par les quatre restrictions de Canguilhem et à la hiérarchisation des causes³⁷.

³⁴ « *D'une manière générale, les biologistes cherchent à opérer sur un matériel animal homogène* » (Wolff, 1963, p. 4).

³⁵ « *L'installation du concept d'organisation au cœur du monde vivant entraîne plusieurs conséquences. La première est celle de la totalité de l'organisme qui apparaît désormais comme un ensemble intégré de fonctions, donc d'organes. Ce qu'il faut considérer dans un être, c'est jamais chacune des parties prises en particulier, mais le tout* » (Jacob, 1970, p. 99).

³⁶ Bernard affichait une certaine méfiance à l'utilisation des statistiques en physiologie que Prochiantz explique de la façon suivante : « *cette méfiance était connaissance de l'extrême variabilité de ces phénomènes, et conscience que dans l'état des sciences de l'époque, le déterminisme de cette variabilité (qu'il s'agit justement de comprendre) était très mal défini* » (Prochiantz, 1990, p. 21).

³⁷ L'approche analytique cartésienne repose sur l'hypothèse implicite que le découpage ne fait rien disparaître d'essentiel, hypothèse qui tient difficilement si l'on considère le haut niveau d'intégration des êtres vivants.

Legay note que « *l'expérience changeait d'ampleur et de nature, il fallait construire des plans d'expériences et ne plus se contenter d'une expérience fut-elle répétitive* » (*ibid.*, p.17). C'est également cette prise en compte du complexe qui permet le développement de l'utilisation des modèles en biologie, y compris des modèles mathématiques (Lange, 2000).

C'est bien la conséquence de la spécificité des objets biologiques qui conduit à la forme probabiliste des lois en biologie et à ce que l'exactitude des faits et des processus est vérifiée uniquement statistiquement sur des groupes nombreux (Parain-Vial, 1985, p. 107). Cette approche probabiliste s'est trouvée renforcée au cours du XX^e siècle avec l'avènement de la génétique de Mendel et de la théorie darwinienne qui reposent toutes les deux sur une approche populationniste, approche qui devient un élément fondamental de la biologie moderne dans le cadre de la théorie synthétique de l'évolution (Huneman, 2001, p. 24).

3.2.2. Fondements logiques de la démarche expérimentale en biologie fonctionnaliste

Sur le plan logique, le raisonnement hypothético-déductif, à la base de la démarche expérimentale, formellement identique au modèle déductif-nomologique (figure 1-2) relève d'une logique formelle.

Tableau 1-2. Correspondance entre raisonnement hypothético-déductif et le modèle déductif-nomologique (d'après Meyer, 1979, p. 286)

Raisonnement hypothético-déductif	Modèle déductif-nomologique
On suppose vraie l'hypothèse H	On suppose vraie une loi L
De H et des prémisses A, B, C, on déduit les éléments d'observation D1, D2, D3	On déduit de L, et des conditions C1, C2, C3, des éléments d'observation
Si D1, D2, D3 s'accordent avec l'expérience, H est confirmée.	Si la prédiction se réalise, toutes les prémisses sont vraies.

Nous pourrions considérer qu'une explication pertinente répondant aux tests empiriques est vraie. Mais les travaux de Popper, que nous allons mobiliser même s'il ne s'intéresse que passagèrement aux questions de biologie, montrent que l'on ne peut pas prouver qu'une explication est vraie. Considérons sa critique qui porte sur les théories et que nous allons déplacer au niveau des explications. Selon nous, une explication s'inscrit dans une théorie et c'est elle qui détermine la forme de ce qu'expliquer veut dire et les conditions qui permettent de valider ces explications.

Popper précise qu'« *exiger de la science des preuves à caractère rationnel* » est une exigence impossible (1963/1985, p. 86) et que, si le raisonnement purement logique a un rôle déterminant dans l'activité scientifique, c'est par sa capacité à

soumettre nos explications à la critique. Popper a montré, à plusieurs reprises, que la démarche scientifique n'est pas inductive : elle est hypothético-déductive dans le sens où c'est l'énoncé de conjectures qui est première, ces conjectures devant ensuite être soumises à l'expérimentation. De plus, Popper abandonne la certitude pour la réfutation, toujours pour des raisons logiques : « *du point de vue de la logique déductive, il existe une asymétrie entre la vérification et la falsification par l'expérience* » (1991/1998, p. 54). Il faut abandonner la quête de justification si l'on entend par justification, la preuve de la vérité d'une théorie. Ainsi, une explication valide constitue seulement une conjecture, un ensemble d'hypothèses qui résiste à la réfutation, en attendant que de nouvelles expériences, de nouveaux tests viennent la réfuter. Popper précise que, « *grâce à cette méthode d'élimination, nous pouvons tomber sur une théorie vraie. Mais en aucun cas la méthode n'est en mesure d'établir sa vérité* » (1991/1998, p. 57). Il n'y a donc pas de vérité définitive, il y a que des vérités provisoires. Pourtant Popper pense que la science progresse vers la vérité par l'introduction du rôle positif du négatif, car il « *croit en la raison, mais à travers une raison négative : la science progresse par la réfutation des erreurs. Quel est le progrès de la science ? C'est que des erreurs sont éliminées, éliminées, éliminées* » (Morin, 1982/1990, p. 53). Une version plus élaborée de la falsification est présentée par Chalmers. Il montre, en s'appuyant sur certains exemples historiques, que « *les progrès significatifs (de la science) ont lieu lors de la confirmation de conjectures audacieuses ou de la falsification de conjectures prudentes* » (1987/1995, p. 98)³⁸.

Ainsi, même si l'on ne peut pas logiquement prouver qu'une explication est définitivement vraie, c'est bien la vérité qui joue un rôle régulateur dans l'activité scientifique. Même si une explication n'est pas objective en elle-même, elle se fonde sur des données objectives car « *l'objectivité est le résultat d'un processus critique développé par une communauté / société scientifique jouant un jeu dont elle assume pleinement la règle. Elle est produite par un consensus [...], le consensus des chercheurs* » (Morin, 1982/1990, p. 40-41).

³⁸ Ce falsificationnisme élaboré permet de pointer le désaccord entre Kuhn et Popper, car si pour Popper les scientifiques cherchent en permanence à renverser les explications en cours, pour Kuhn, les scientifiques cherchent plutôt à conserver le paradigme. En cela, comme le précise Grmek, « *Kuhn rejoint le "principe de conservation du savoir" de Bachelard* » (1973/1991, p. 15).

3.3. Conclusion

Nous venons d'expliciter différents éléments qui permettent de justifier une explication en reprenant les deux critères explicités par Hempel : celui de la pertinence et de celui de la testabilité. La question de la pertinence nous a permis de monter en quoi les styles de pensée, les paradigmes de la science normale ou les programmes de recherche servent, à la fois, à orienter l'activité des chercheurs et à dire si une explication peut être, ou non, considérée comme pertinente à un moment de l'histoire. Cela pose deux questions : l'une épistémologique, l'autre plus didactique. La première concerne les relations entre ces épistémés, styles de pensée et la possibilité d'un « moment de la découverte ». En effet, si nous voulons établir un parallèle entre activités scientifiques et apprentissages scientifiques : il s'agit d'interroger la façon dont se constituent les nouveaux styles de pensée, les nouveaux paradigmes, les nouveaux noyaux durs des programmes de recherche, qui permettent de définir, d'une nouvelle façon, ce qui mérite d'être expliqué et comment ces nouveaux faits signifiants peuvent être expliqués. C'est la question de l'épistémologie de la découverte sur laquelle nous essaierons d'avancer dans le chapitre 4. Du point de vue didactique, il conviendra de nous interroger sur le format des explications que les élèves sont en mesure de recevoir et de produire dans la classe : la notion de communauté discursive scolaire scientifique que nous présenterons au chapitre 2 pourrait être une piste pour reprendre la question précédente dans le contexte scolaire.

Enfin, la question de la testabilité nous a permis de montrer comment la vérité joue un rôle régulateur dans la dialectique entre explications et faits empiriques dont les explications doivent rendre compte, même si on ne peut pas prouver définitivement la vérité d'une explication.

4. Une épistémologie de la découverte : problème et explication

4.1. Le problème de la découverte

Expliquer, nous l'avons dit, c'est rendre raison des faits. Mais de quels faits ? Dans la tradition empiriste, c'est à partir d'observations (et d'expériences) de (sur) la nature que l'on doit recueillir les faits qui serviront, par la mise en œuvre d'un raisonnement logique, à établir de lois et de théories³⁹. Alors, c'est l'induction qui permet d'aller du particulier au général. Considérons les deux phases de la démarche inductive pour montrer que cette conception de la découverte scientifique pose problème. La première étape d'une démarche inductive consiste à recueillir les faits significatifs qui devront être expliqués, « *mais significatifs par rapport à quoi ?* » interroge Hempel (1972/2002, p. 18). Ainsi, « *l'observation est toujours observation à la lumière de théorie ; c'est seulement le préjugé inductiviste qui nous incite à croire qu'il pourrait y avoir un langage phénoménal, libre de toute théorie, et distinct d'un langage "théorique"* » (Popper, 1973/1989, p. 59). En effet, « *pour qu'un objet soit accessible à l'analyse, il ne suffit pas de l'apercevoir. Il faut qu'une théorie soit prête à l'accueillir. Dans l'échange entre la théorie et l'expérience, c'est toujours la première qui engage le dialogue* » (Jacob, 1970/1976, p. 24)⁴⁰.

Pour ce qui concerne la deuxième étape du raisonnement inductiviste, c'est-à-dire le passage des prémisses à la loi générale, c'est Hume (1739/1962, p. 141-157) qui, le premier, pose le problème de l'induction à savoir que l'induction ne peut être justifiée sur des bases logiques. Ainsi pour « *passer des données à la théorie, il faut un travail créateur de l'imagination. Les hypothèses et les théories scientifiques ne sont pas dérivées des faits observés mais inventées pour en rendre raison* » (Hempel, 1972/2002, p. 22-23).

³⁹ « *Le positivisme logique représentait une forme extrême de l'empirisme, selon lequel la justification des théories n'est pas liée seulement à leur vérification sur des faits acquis de l'observation, mais au fait qu'elles n'ont de sens que si c'est de là qu'elles tirent leur origine* » (Chalmers, 1987/1995, p. 17)

⁴⁰ « *Le passage par la théorie est indispensable, et une science qui voudrait uniquement rendre compte des données expérimentales ne déboucherait sur rien (c'est le cas de la génétique formelle, ainsi que de la plupart des modélisations). Quand on ne pose pas de problèmes théoriques, ou qu'on les pose mal, les données expérimentales ne servent à rien, et les explications qu'on en donne ne valent pas grand-chose* » (Pichot, 1999, p. 180).

Notre question de départ est toujours intacte puisqu'il s'agit de savoir d'où viennent ces premières théories, ces premières explications ou premières hypothèses.

Dans le courant rationaliste, Claude Bernard indique qu'« *il faut nécessairement expérimenter avec une idée préconçue* » qui « *a toujours été et sera toujours le premier élan d'un esprit investigateur* » (1865, p. 40 et 48). Ainsi, comme le précise Grmek, la solution adoptée par Claude Bernard correspond à un « *recours à une activité extra-logique "sentimentale"* » (1973/1991, p. 54). C'est également la position de Popper⁴¹, pour lequel la création d'une nouvelle théorie contient toujours un élément irrationnel, une sorte d'intuition créatrice : « *Le stade initial, cet acte de concevoir ou d'inventer une théorie, ne semble pas requérir une analyse logique ni même être susceptible d'en être l'objet. La question de savoir comment une idée peut naître dans l'esprit d'un homme [...] peut être d'un grand intérêt pour la psychologie empirique mais elle ne relève pas de l'analyse logique de la connaissance scientifique* » (1973/1989, p. 27). Le courant rationaliste logique considère que le processus de la découverte est subjectif, irrationnel et illogique et renvoie la découverte à une dimension psychologique.

C'est à cette conception rationaliste logique que s'oppose Meyer lorsqu'il précise que « *l'activité scientifique est une activité rationnelle, l'histoire des découvertes le prouve. On ne peut donc réduire l'activité scientifique à un seul niveau, celui de la justification et de la vérification, le niveau objectif et logique, et procéder en philosophie comme si la manière dont les résultats se sont accumulés était psychologique (donc la situer hors de l'épistémologie), ou pour éviter l'irrationnalisme, croire qu'elle est entièrement réductible à ce niveau apocritique*⁴² » (1979, p. 280). La principale critique que Meyer adresse aux logicistes est la suivante : ils n'arrivent pas, en mobilisant uniquement la logique formelle, à expliquer la progression de la connaissance scientifique : « *globalement la science ne saurait progresser selon le mode nomologico-déductif* » (1979, p. 157).

Pour instituer la découverte d'explications au niveau épistémologique, nous allons principalement nous appuyer sur les travaux de Meyer et d'autres épistémologues du problème. Il s'agira pour nous de les introduire et de les discuter pour reconstruire le modèle de la problématisation à partir de ces apports.

⁴¹ De Popper dans la *Logique de la découverte scientifique* et de *Conjectures et réfutations*. Dans la *Connaissance objective*, il nous semble que la théorie des trois mondes est un moyen pour penser les articulations entre le monde physique, le monde des états de pensée et le monde des contenus objectifs de pensée.

⁴² Meyer distingue le savoir apocritique, le savoir des réponses, au savoir problématologique, c'est-à-dire celui du questionnement, du problème. Meyer appelle différence problématologique, la distinction entre ces deux types de savoir.

4.2. La problématologie ou la possibilité d'une épistémologie de la découverte scientifique

Le problème de la découverte d'une explication en science nous confronte au dilemme du Ménon formulé par Platon de la façon suivante : « *il est impossible à un homme de chercher, ni ce qu'il sait, ni ce qu'il ne sait pas. Ni d'une part ce qu'il sait, il ne le chercherait en effet, car il le sait, et en pareil cas, il n'a pas du tout besoin de le chercher ; ni, d'autre part, ce qu'il ne sait pas, car il ne sait pas davantage ce qu'il devra chercher* » (Ménon, 80E). Compte tenu de ce paradoxe, la recherche ne permettrait pas d'étendre le savoir, ni de l'acquérir. Mais, c'est parce que « *le paradoxe du Ménon confond (...) deux types de savoirs : le savoir des questions et le savoir des réponses* » précise Fabre, (2009, p. 202), niant la différence problématologique qui sera réhabilitée par Meyer⁴³. En effet, le courant rationalise logique considère uniquement le savoir des réponses en niant qu'il existe un savoir des questions ou en l'assimilant à l'ignorance. Pourtant il existe un savoir des questions, et c'est lui qui rend possible la découverte : « *pour résoudre le paradoxe du questionnement, il faut admettre que je puisse savoir ce que je cherche tout en ignorant ce que je vais trouver* » (Meyer, 2000, p. 87). Cela correspond également à la position rationaliste de Bachelard qui dénonce le poncif de la contingence de la découverte : « *si la matérialisme scientifique est une science d'avenir, c'est que sa rationalité est précisément productrice de découvertes. Vue dans une perspective de rationalité, la découverte n'est plus vraiment contingente* » (1953/2000, p. 7).

Pour réhabiliter la différence problématologique, il convient de rappeler l'importance du problème, et donc du savoir des questions, dans la recherche d'une explication. C'est ce que fait Meyer à la suite de Bachelard et du Popper de la *Connaissance objective* (avec l'introduction du troisième monde, le « *monde sans sujet connaissant* », dont les « *habitants* » sont les systèmes théoriques, les problèmes et états de ces problèmes [état des discussions, état des échanges d'arguments critiques], 1991, p. 137, 184). Pour ces auteurs, la connaissance scientifique est une réponse à un problème : « *pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question* » (Bachelard, 1938/1993, p. 14), « *la science commence par des problèmes* » (Popper, 1991/1998, p. 230). Laudan adopte

⁴³ Dans le cadre du questionnement, la différence problématologique caractérise « *ce qui est en question et ce qui est hors question* » et « *sans elle, il serait impossible de questionner et de répondre, puisque les deux ne ferait qu'un. Or, si tout était problématique, on ne saurait même pas ce que l'on demande* » (Meyer, 1993, p. 49).

la même position en affirmant que « *la science est essentiellement une activité qui vise à résoudre des problèmes* » (1977, p. 31), tout en précisant que même si cette idée est généralement admise peu d'attention est prêtée à ces conséquences. Quelles sont les conséquences de l'importance du problème dans la recherche scientifique, et pour commencer, sur les liens entre explication, problème et problématisation ?

4.2.1. Les faits, quels faits ?

Une première conséquence de cette réhabilitation du problème dans la recherche d'explication concerne le choix des faits dont la recherche scientifique doit rendre raison. Suivons Meyer : « *Ce qu'il importe de voir, est que l'émergence des faits dans leur réalité indépendante de faits n'a lieu qu'au sein même du processus interrogatif. Celui-ci est une dynamique au cours de laquelle le réel s'impose dans son autonomie comme une extériorité indépassable, mais une extériorité tout de même. Cela s'explique par le fait que l'on ne peut avoir de réalité qu'en s'interrogeant, qu'en l'interrogeant, ce qui fait ressortir du même coup le caractère extérieur de ce qui fait problème comme étant précisément résistant par rapport aux évidences familières qui constituent notre monde, non problématiquement* » (1986, p. 10). Ainsi ce qui intéresse la problématologie, ce n'est pas le fait en tant que tel, mais le processus par lequel un fait devient un fait, ce que Meyer appelle la factualisation. Ainsi « *le fait n'est pas un "en soi", il n'existe que dans un questionnement, dans un contexte problématique. Les faits sont en réalité les données ou les solutions d'un problème* » (Fabre, 2009, p. 220-221). Meyer explique que ce processus provoque le dédoublement de toute question portant sur un fait précis : en même temps, le questionnement met hors question le fait qu'il interroge, justement pour pouvoir l'interroger, mais exige également d'aller au-delà du fait lui-même pour qu'il cesse de faire problème. Il y a un risque de circularité puisqu'en définissant le fait que l'on cherche à expliquer, on détermine en partie l'explication que l'on va en donner : « *la circularité mise en œuvre à produire des faits serait destructrice si elle s'arrêtait au constat empirique, propre au sens commun* » (Meyer, 1986, p. 286). Mais la science a certaines caractéristiques propres (qui la distingue donc du sens commun) qui lui permettent d'éviter la circularité, ainsi « *la science met sa factualisation à l'épreuve en appliquant à d'autres faits l'explication qu'elle suppose pour les faits de bases* » (*ibid.*). Ces faits peuvent provenir soit de questionnements précédents, ce qui a permis de les mettre provisoirement hors questions, soit de faits qui font partie du domaine dans lequel se déploie le questionnement ou de faits que l'on ne pensait pas qu'ils puissent être expliqués par la même théorie. En effet, on ne s'engage pas dans un questionnement si l'on ne sait rien, car pour répondre à la question posée il faut pouvoir « *mettre à l'épreuve la*

conception pro-posée et la confronter à d'autres faits pour lesquels elle n'a pas été prévue » (1986, p. 9).

Autre caractéristique de la science, c'est le caractère hypothétique de la factualisation qui implique qu'elle soit, à un moment, mise en question pour pouvoir être établie comme réponse, alors que le sens commun s'arrête aux réponses premières sans s'interroger sur la validité de la factualisation. Comme le précise Fabre « *encore une fois, il ne faut pas confondre ce qui est de l'ordre du problème et ce qui relève de la solution. Bref, en science on résout toujours une question par une autre, la question des faits par celle de l'interprétation et inversement* » (2009, p. 220).

On comprend pourquoi le postulat empirique de l'indépendance des faits par rapport aux explications et aux théories ne tient pas dans une conception problématologique de la science qui « *oblige à concevoir une imbrication des faits et des théories* ». Ainsi l'observation, l'expérience n'ont de sens qu'en référence aux problèmes et « *inversement toute théorie s'appuie sur du hors question et donc sur des faits* » (Fabre, *ibid.*, p. 221). C'est ce que Meyer nomme le contexte problématique et qui permet de donner leur sens aux propositions et aux problèmes. Ainsi, les faits comme les théories sont construits dans le cadre d'une dialectique par l'entremise du problème. Veyne, à propos de la démarche de recherche en histoire, notait déjà qu'« *un fait n'est rien sans son intrigue* » et qu'il est vain de vouloir prendre en compte tous les faits à la fois. Les faits n'ont de sens qu'en fonction de la question que l'on se pose et il conclut que dans l'activité scientifique la démarche n'est pas fondamentalement différente : « *alors dans l'intérêt de la science, tout décrire ? Essayez* » (1971/1996, p. 52 et p. 53).

4.2.2. La logique de la découverte : causalité et relevance

Quel que soit le processus de questionnement, il convient de distinguer deux niveaux : le niveau problématologique où l'on pose les problèmes et le niveau apocritique où l'on répond. C'est la distinction entre ces deux niveaux du processus qui permet à Meyer de résoudre le dilemme du Ménon. Meyer précise aussitôt que dans la recherche en train de se faire, les deux moments peuvent se mélanger, même si ce n'est pas toujours le cas. Écoutons Meyer décrire l'activité d'un scientifique qui passe d'une question à une autre seulement après avoir justifié la réponse à la première question. « *On a l'impression que le savant progresse en proposant une hypothèse qu'il confirme ou réfute, et que ce serait la testabilité qui serait la réelle*

marque de la progression » mais, ajoute-il aussitôt, la progression s'est matérialisée dès l'émission de l'hypothèse, et la justification « *quoiqu'elle n'ajoute rien et tout aussi indispensable à la science* » (1979, p. 40). Dans tous les cas, le passage d'une hypothèse à une autre se fait, pour Meyer, selon une logique spécifique au niveau problématologique. « *Les réponses problématologiques qui sont les questions pour le questionneur demeurent implicites à l'intérieur de son processus, ou, si elles sont explicitées elles le sont comme telles, ce sont alors des hypothèses. L'hypothèse en tant qu'assertion explicite, est apocritique et problématologique. Elle n'est explicitée qu'au moment de la justification* » (Meyer, 1979, p. 42). Voyons quelles sont les conséquences de la différence problématologique et de la place déterminante du problème scientifique dans la recherche d'explications. C'est à ce niveau que le contexte de la problématisation joue un rôle déterminant dans la recherche de nouvelles explications, dans la mesure où « *le contexte est ce qui permet d'associer une question à une réponse particulière* » (*ibid.*, p. 290). En effet, le contexte permet de donner son sens au problème, en permettant au chercheur, d'une part, de découper ce problème en sous-problème ou en ramenant ce problème « *à ce qu'il sait déjà ou croit savoir, ce qui est d'une certaine manière de résoudre déjà* » (*ibid.*, p. 309). Ainsi, comme indique Fabre, « *la problématisation suppose d'identifier les traits significatifs ou encore "relevants" par rapport au contexte de l'interrogation* » (2009, p. 226). La relevance revient à savoir si deux phénomènes ont à voir l'un avec l'autre, elle recouvre la notion de causalité sans s'y limiter. Les deux façons de comprendre un problème, présentées plus haut (découpage analytique du problème de départ en sous-problème, déplacement du problème vers des problèmes déjà connus), peuvent donc être décrites d'un point de vue logique, pas une logique formelle, mais une logique du sens qui caractérise la logique de la recherche (1979, p. 344-345). Pour Meyer, les deux modes de raisonnements qui rendent compte de cette logique de la recherche sont l'induction et l'abduction (tableau 1-3).

Tableau 1-3. Les deux modes de raisonnement dans une logique de la découverte : induction et abduction, comparaison avec le raisonnement déductif (Meyer, 1979, p. 284-285, citant Pierce, vol. 2, § 623)

Déduction		Induction		Abduction	
<i>Règle</i>	Tous les haricots du sac sont blancs	<i>Cas</i>	Ces haricots viennent du sac	<i>Règle</i>	Tous les haricots du sac sont blancs
<i>Cas</i>	Ces haricots proviennent du sac	<i>Résultat</i>	Ces haricots sont blancs	<i>Résultat</i>	Ces haricots sont blancs
<i>Résultats</i>	Ces haricots sont blancs	<i>Règle</i>	Tous les haricots du sac sont blancs	<i>Cas</i>	Ces haricots viennent du sac

« *L'induction repose sur la contiguïté, c'est un raisonnement métonymique [...]. L'abduction au contraire métaphorise : elle infère des faits d'une sorte à partir des*

faits d'une autre sorte » (Fabre, 2009, p. 225). Pour décrire la métaphorisation, Meyer parle de raisonnement analogique : « *le raisonnement analogique pose comme relevantes certaines propriétés, et considère comme négligeables, indifférentes, ou causalement nulles dans l'explication du phénomène, certaines autres propriétés* » (Meyer, 1979, p. 341). Mais dans les deux cas, il convient de noter que l'induction et l'abduction ne permettent pas de résoudre logiquement un problème, mais seulement de réaliser des inférences problématologiques qui permettent d'accroître le savoir. C'est le processus décrit au début de ce paragraphe : on passe ainsi de question en question, questions qui correspondent toutes à des réponses problématologiques et qui devront s'autonomiser et devenir réponses apocritiques par l'entremise de la mise à l'épreuve des hypothèses par les tests empiriques.

4.2.3. Expérience et nécessité : articulation entre découverte et justification

La problématologie remet en question également l'apodicticité des savoirs scientifiques. Le caractère de nécessité des savoirs scientifiques n'est pas une propriété intrinsèque des savoirs scientifiques car « *fonder la nécessité est hors de portée de toute théorie du jugement* » (Meyer, 1979). C'est une nouvelle fois la différence problématologique qui va permettre à Meyer d'indiquer, à partir d'une analyse de la fonction de l'expérience, ce qui confère le statut de nécessité au savoir scientifique.

Comme nous l'indiquions ci-dessus, une expérience n'a de sens que par rapport au problème construit par le chercheur, et expérimenter « *c'est construire son problème de telle sorte qu'on puisse le trancher de façon alternative* » (Fabre, 2009, p. 227). Pour Meyer, l'expérience doit trancher l'alternative et, même si rien n'empêche les réponses d'être autres que ce qu'elles sont, c'est en cela qu'elle acquiert, pour Meyer, leur caractère de nécessité. Ainsi, la nécessité n'est pas une propriété intrinsèque de la réponse, mais c'est dans ce mouvement qu'elles acquièrent un statut de nécessité dans le cadre d'une enquête. Ainsi « *la notion de nécessité est purement apocritique : elle caractérise le répondre en tant que la réponse qui résout une question est nécessairement l'exclusion de l'autre terme de l'alternative* » (Meyer, 1986, p. 279). Fabre le précise : « *l'alternative constitue donc la structure problématologique de l'expérience scientifique. Par là, elle opère l'articulation de la découverte et de la justification en enserrant la contingence des réponses dans un filet de nécessités* » (Fabre, 2009, p. 231).

Meyer emploie une version limitée de l'idée de nécessité. Cela a comme conséquence de renvoyer l'idée de nécessité aux tests empiriques et de la conditionner à l'obtention d'une réponse. Pour notre part, nous ne reprendrons pas cette version limitée de l'idée de nécessité du point de vue du processus de problématisation. En effet, il nous semble que le caractère de nécessité peut être établi par des argumentations conduites en dehors de l'obtention d'une réponse certaine. Cela revient à dire qu'il peut exister une délimitation du champ des possibles (qui construit des nécessités, de l'apodictique) à l'intérieur de la modalité du problème.

4.3. Conclusion : l'explication entre expliquer et comprendre

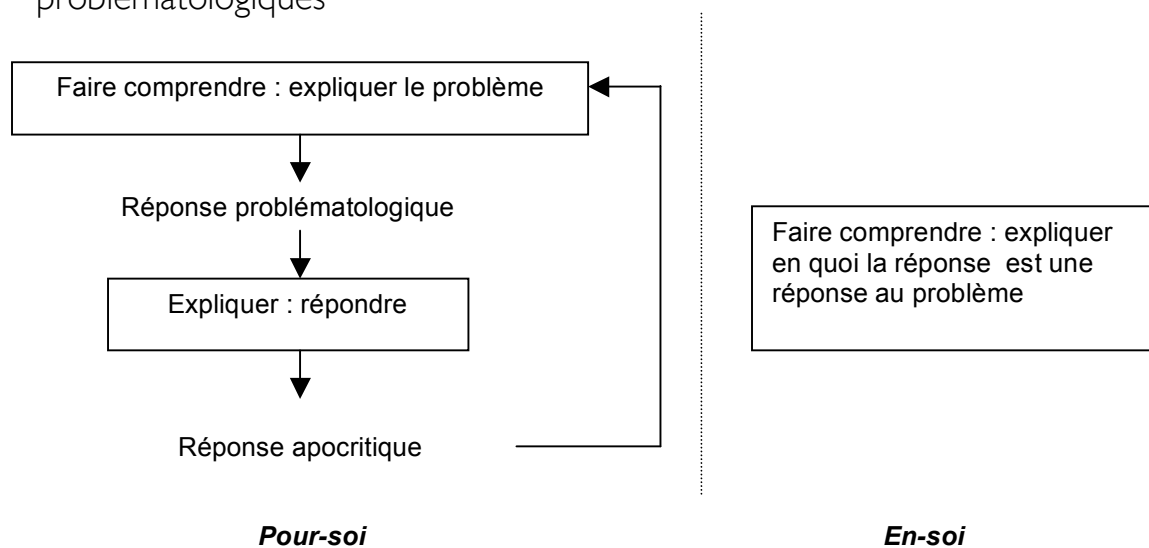
En conclusion, la réhabilitation de la différence problématologique par Meyer nous permet d'introduire l'idée de problématisation à travers la distinction qu'il propose entre comprendre et expliquer. Avant d'exposer la position de Meyer au sujet de cette distinction, essayons de poser ce problème avec d'autres auteurs.

Pour Halbwachs, par exemple, explication et compréhension sont respectivement la face épistémologique et psychologique du même processus (1973, p. 73). Pour Veyne, il s'agit seulement d'une différence de degré dans l'explication, l'explication étant prise dans un sens fort⁴⁴ dans le champ scientifique et dans un sens faible⁴⁵ qu'il attribue au champ des sciences humaines (et en particulier en histoire) lorsqu'il indique qu'« *expliquer, de la part d'un historien, veut dire "montrer le déroulement de l'intrigue, la faire comprendre"* » (Veyne, 1971/1996, p. 124). Ricœur propose qu'« *expliquer et comprendre ne constitueraient pas les pôles d'un rapport d'exclusion, mais les moments relatifs d'un processus complexe qu'on peut appeler interprétation* » (1986/1998, p. 180). Meyer adopte une position proche en l'adaptant à la problématologie. Il propose ainsi de considérer expliquer et comprendre dans le cadre du processus de la succession de réponses problématologiques propres à la recherche scientifique (figure 1-3), du double point de vue du questionnement (le pour-soi) et d'un point de vue externe au questionnement (l'en-soi).

⁴⁴ « *Assigner un fait à son principe ou une théorie à une théorie plus générale* » (Veyne, 1971/1996, p. 124).

⁴⁵ « *Comme lorsque nous disons laissez-moi vous expliquer et vous allez comprendre* » (Veyne, 1971/1996, p. 124).

Figure 1-3. Expliquer et comprendre dans la succession des réponses problématologiques



Nous considérons, dans ce travail, l'explication comme le processus qui va de comprendre le problème à la réponse apocritique en passant par la phase de construction du problème qui à une place importante compte-tenu de notre positionnement épistémologique. Tout l'intérêt de la pensée de Meyer, en lutte contre le positivisme, lorsqu'il oppose découverte et justification, c'est de montrer qu'il existe une logique à la découverte d'une explication scientifique. Et même, s'il n'envisage pas un processus de problématisation à plusieurs dimensions (position, construction, résolution du problème) comme nous le faisons au CREN et si nous ne retiendrons pas l'intégralité de ces propositions (notamment une version forte de l'idée de nécessité), il nous semble que c'est avec lui que nous pouvons lier explication et problématisation.

Nous allons maintenant préciser notre positionnement épistémologique.

5. Explication et problématisation : positionnement épistémologique

Tout d'abord, nous avons montré que le terme explication dans les sciences de la vie, ne peut être entendu dans un sens fort de « trouver la loi axiomatisée d'un phénomène », de par la spécificité des objets auxquels les sciences de la vie s'intéressent. Expliquer revient alors « *rendre raison des phénomènes* » (Bachelard, 1949/1998, p. 3), c'est-à-dire, dans le cadre d'un rationalisme régional biologique, établir le caractère nécessaire des relations que l'on peut établir entre un phénomène et les éléments (modèles physico-chimiques ou probabilistes, phénomènes à un autre niveau d'organisation) autre que lui-même que l'on mobilise pour en rendre compte⁴⁶.

L'utilisation des propositions de Meyer nous a permis d'avancer dans la compréhension de la nature d'une explication scientifique sur plusieurs points. Tout d'abord, elle nous a permis d'introduire le problème au cœur du processus d'explication (et donc au centre de l'activité scientifique) qui se trouve ainsi lié à une activité de problématisation. Ensuite, la différence problématologique nous a permis de distinguer deux moments : celui de la construction du problème, ce que Meyer appelle comprendre le problème et celui de la résolution du problème : expliquer le problème. Ces deux moments ne peuvent être déconnectés l'un de l'autre, car, comme le propose Bachelard, on devrait « *montrer et démontrer que ses résultats sont des conclusions, que ces résultats sont des réponses à des questions bien posées, à des questions scientifiques* » (1949/1998, p. 35).

Les explications scientifiques validées par la communauté scientifique ont généralement perdu la trace du niveau problématique. En effet, les réponses se sont autonomisées par rapport aux problèmes qui leurs ont donné naissance. Mais lorsque les scientifiques interrogent *a posteriori* leurs découvertes, font un retour critique sur leurs questionnements, le moment problématologique réapparaît sous des formes variées. Ainsi, Grmek, dans l'analyse du travail de Claude Bernard, montre bien qu'il existe deux périodes : le moment de la recherche, travail conscient et souterrain (Grmek le nomme « *incubation* », 1973/1991, p. 114) et un moment de reconstruction logique. Ainsi « *après avoir non seulement acquis la certitude subjective mais aussi établi la confirmation qui lui paraît objective, le chercheur va*

⁴⁶ Ce qui nous semble proche de la position de Jacob : « *Il faut que les données empiriques s'articulent en profondeur, qu'elles s'étagent en fonction de leur rapport à un élément d'unification qui se trouve à la fois condition de toute connaissance mais hors de la connaissance* » (1970, p. 102).

procéder à la démonstration, c'est-à-dire à la reconstruction logique des évènements, à une présentation historiquement fautive de sa découverte » (ibid., p. 115). Jacob, pour sa part, distingue la science de jour et la science de nuit : « *la science de jour met en jeu des raisonnements qui s'articulent comme des engrenages, des résultats qui ont la force des certitudes* » (Jacob, 1987/1990, p. 397) et la science de nuit qui « *au contraire, erre à l'aveugle. [...] Doutant de tout, elle se cherche, s'interroge, se reprend sans cesse. C'est une sorte d'atelier du possible où s'élabore ce qui deviendra le matériau de la science* » (ibid., p. 398). L'apport déterminant de Meyer est qu'il nous permet de réintroduire le moment de la construction du problème dans le champ de l'épistémologie (même s'il fait appel, en plus de la logique formelle à une logique spécifique). À la différence de la plupart des épistémologues du courant rationaliste logique (Hempel, Popper de la *La logique de la découverte scientifique* et de *Conjecture et réfutation*) qui renvoyaient cette question à une interprétation psychologique ou sociologique. **La logique de la construction des problèmes** ne relève pas de la logique classique (une logique *contexte-free* pour reprendre la formule de Meyer), mais **d'une logique du sens** qui attribue au contexte problématique un rôle déterminant dans la compréhension des problèmes (*context-dependant*), puisque le contexte permet de donner une orientation à la recherche : « *l'inconnu en face de la pensée scientifique est "situé". Il est même, en quelque manière, aligné sur ce que l'on connaît* » (Bachelard, 1953/2000, p. 26).

Le contexte problématique contient à la fois le savoir partagé par la communauté scientifique, le savoir sédimenté, mais également le savoir propre à chaque chercheur et ses croyances. On voit par-là comment les présupposés des chercheurs, leur style⁴⁷, leurs idées fixes⁴⁸ ou *thématas*⁴⁹ (Holton, 1981) ont un rôle déterminant dans l'orientation de l'activité scientifique. Ainsi, Grmek précise que « *les sentiments de Bernard sont souvent des généralisations intuitives* » (1973/1991, p. 71) et Holton, à travers l'étude l'histoire de la physique, montre qu'il existe plusieurs modes de mise en oeuvre des *thématas* : le concept thématique, le *théma* méthodologique et la proposition thématique ou hypothèse thématique (1981, p. 28). Meyer a identifié, nous l'avons déjà abordé, deux modes de raisonnements qui permettent la construction des problèmes : le raisonnement inductif et le raisonnement analogique

⁴⁷ « *De même qu'en littérature ou en peinture, il y a un style en sciences. Pas seulement une manière de regarder le monde, mais aussi de l'interroger. Une façon d'agir à l'égard de la nature et d'en parler, de concocter des expériences, de les réaliser, d'en extraire des conclusions, de formuler des théories. De les mettre en forme pour en tirer une histoire à raconter ou à écrire.* » (Jacob, 2005, p. 3).

⁴⁸ Claude Bernard parle de la « *force des hommes qui pensent toujours à la même chose* » (Bernard, 1965, p. 75).

⁴⁹ Morin définit les *thématas* de Holton comme « *une préconception fondamentale, stable, largement répandue et qu'on ne peut réduire directement à l'observation* » (1982/1990, p. 43).

dans le cadre de la métaphorisation⁵⁰. En cela, il nous permet de rendre compte, dans le cadre d'une logique *contexte-dependant*, des métaphores qui participent à la recherche de nouvelles explications. Nous pouvons illustrer cela en référence à l'analyse de certaines découvertes réalisées dans les sciences de la vie. Canguilhem (1955) montre comment des « *comparaisons explicatives* » (1955, p. 64) avec des engins à feu ont permis à Willis de former le concept de mouvement réflexe « *par la puissance d'analogie* » « *poussée jusqu'au bout* » (*ibid.*, p. 72 et p. 66)⁵¹. Fox Keller (2004) montre le rôle déterminant joué par les métaphores dans l'élaboration d'explications du développement des êtres vivants : « *une grande partie des travaux théoriques impliqués dans l'élaboration d'explications du développement à partir de données génétiques est d'ordre linguistique et ils reposent sur l'utilisation fructueuse de tensions cognitives qu'engendrent les significations multiples, l'ambiguïté et, plus généralement, l'introduction de métaphores originales* » (Fox Keller, 2004, p. 135). Lorsque Jacob parle d'un interminable dialogue intérieur comme d'« *innombrables suppositions, rapprochements, combinaisons, associations qui sans cesse traversent l'esprit* » (1987/1990, p. 398), on pourrait en rendre compte par la mise en œuvre d'inférences analogiques et de métaphorisations⁵². Même si Bernard fait référence au hasard dans le processus de découverte, Grmek distingue deux types de hasard : « *le hasard extérieur, c'est-à-dire le fait accidentel* » et le « *hasard psychologique, nom donné improprement à la rencontre apparemment fortuite de deux idées* » (1973/1991, p. 82), le hasard de ce dernier type peut également être décrit dans le cadre d'une logique *context-dependant*.

Le deuxième point, qui est en lien avec ce que nous venons de dire, concerne le caractère construit des faits que le chercheur va vouloir expliquer. Ainsi les faits ne sont pas des données, mais ont un caractère construit, puisqu'ils n'ont de sens que par rapport au problème pris en charge par le chercheur. Bernard l'affirme lorsqu'il oppose science et empirisme : « *l'empirisme peut servir à accumuler des faits, mais il ne saurait jamais édifier la science. L'expérimentateur qui ne sait point ce qu'il cherche ne comprend pas ce qu'il trouve* » (1865, p. 131). Ainsi, il faut savoir ce que

⁵⁰ Koestler (1967) parle de « *bisociation* », processus par lequel un individu procède à des associations entre des phénomènes qui appartiennent à des systèmes différents. Meyer précise que les personnes qui procèdent à des actes de bisociation « *la mettent en œuvre au sein d'une inférence problématologique* » (1979, p. 343).

⁵¹ Willis « *parvient à un concept d'avenir à partir d'analogies aujourd'hui tenues pour métaphore* » (Canguilhem, 1955, p. 157)

⁵² Jacob indique dans la *Statue intérieure* en quoi l'observation de son fils jouant avec un petit train électrique lui donnait des éléments en faveur d'une régulation de l'expression des gènes selon un mécanisme marche/arrêt : « *Quelques semaines plus tôt, j'avais observé mon fils Pierre qui jouait avec un train électrique. Ce train n'avait pas de rhéostat. Pourtant Pierre faisait varier la vitesse du train en manipulant l'interrupteur, en le faisant osciller plus ou moins vite entre marche ou arrêt. Alors pourquoi pas un mécanisme semblable pour la synthèse des protéines ?* » (1987/1990, p. 406).

l'on cherche et « *même si on trouve le contraire de ce que l'on cherche, on ne peut le trouver qu'à partir de ce que l'on cherche* » (Grmek, 1973/1991, p. 86).

Le dernier point qui nous semble déterminant dans la réflexion de Meyer concerne la critique du caractère nécessaire des savoirs scientifiques, c'est-à-dire de leur apodicticité. En effet, Canguilhem met en avant ce caractère apodictique du savoir lorsqu'il affirme que « *connaître, c'est moins buter contre un réel, que valider un possible en le rendant nécessaire* » (1965/2003, p. 58). Et si « *les explications perdent tout caractère de nécessité* », ce ne sont plus des savoirs scientifiques, mais de « *simples réponses factuelles qui se succèdent au hasard* » (Fabre, 1999, p. 194). Ainsi, le caractère de nécessité n'est pas une propriété intrinsèque du savoir, mais provient de la recherche qui leur a donné naissance. Lorsque Canguilhem affirme que « *la genèse du possible importe autant que la démonstration du nécessaire* » (1965/2003, p. 58), il nous semble que nous pouvons l'interpréter, dans le cadre problématologique, comme l'importance qu'il accorde à la phase de la recherche par rapport à la phase de justification⁵³.

Il convient maintenant de déterminer les conséquences didactiques de ce positionnement épistémologique.

⁵³ Canguilhem disait quelque chose de similaire, lorsqu'il précise que nier la possibilité de la découverte, « *ce serait admettre qu'il n'y a de science que dans l'exploration des idées ou des faits et jamais dans leur invention* » (1955, p. 156).

6. Conséquences : les apprentissages scolaires en sciences de la vie

À la lumière de ce positionnement épistémologique, nous allons essayer d'interpréter deux critiques généralement adressées aux savoirs scolaires et, plus particulièrement, à l'enseignement des sciences à l'école (à entendre au sens large du terme) (Astolfi *et al.*, 1978). La première concerne les savoirs scolaires en général, il s'agit de leur propositionnalisme ; la seconde concerne la tradition empiriste qui semble caractériser les conceptions épistémiques des enseignants de sciences en général et de SVT en particulier.

À partir de ces interprétations, nous essaierons de voir comment nous pouvons envisager un enseignement des sciences de la vie qui donne une place importante à la construction des explications par les élèves.

6.1. Le propositionnalisme du savoir scolaire : savoir et problème

La critique du propositionnalisme des savoirs scolaires est issue de travaux d'anthropologues qui se sont intéressés à la transmission des savoirs (Delbos & Jorion, 1990) repris par Astolfi lorsqu'il réclame, dans un sous-titre provocateur de *l'École pour apprendre*, « *du théorique, pas du Canada dry !* » (1992, p. 39).

Delbos et Jorion analysent les rapports entre ce que l'enfant apprend sur le marais salant et ce que l'élève apprend dans l'institution scolaire. Leur étude permet de mettre en évidence que le savoir dispensé à l'école est de nature « *propositionnelle* ». Ils opposent ce type de savoir, d'une part, au savoir scientifique dont il ne constitue qu'une pâle copie (les processus de salinisation) et, d'autre part, au savoir « *procédural* » qui peut être abstrait de l'observation de la pratique (en l'occurrence celle des parents qui ramassent le sel). Ainsi, les auteurs précisent : « *Quand nous appellerons "propositionnel" le savoir scolaire, nous attirerons l'attention par cela sur l'une de ses caractéristiques marquantes, qu'à défaut de pouvoir être théorique, il résume le savoir sous forme de propositions non logiquement connectées et qui se contentent d'énoncer des contenus* » (Delbos & Jorion, 1990, p. 11). Cela permet à

Astolfi d'expliquer pourquoi les savoirs scolaires ne sont pas ou peu réutilisables par les élèves hors de l'école et pourquoi ils sont peu porteurs de sens pour eux (Astolfi *et al.*, 1978, p. 22 ; Astolfi, 1992, p. 37). Même si Meyer ne s'intéresse pas aux questions d'éducation, il « *nous donne une clé pour comprendre pourquoi le savoir scolaire se présente volontiers "en soi" et indépendamment de tout questionnement, ce qui lui fait perdre tout sens épistémologique* » (Fabre, 2009, p. 215). C'est parce que les savoirs scolaires ont perdu tout contact avec les problèmes dont ils sont réponses qu'ils ont perdu leur sens. Cela rejoint la critique adressée par Deleuze à l'image dogmatique de la pensée. Deleuze précise qu'on « *nous fait croire que les problèmes sont donnés tout faits, et qu'ils disparaissent dans les réponses ou la solution ; sous ce double aspect, déjà ils ne peuvent être que des fantômes* » (1968, p. 65) et ajoute que « *le problème a beau être recouvert par les solutions, il n'en subsiste pas moins dans l'Idée qui le rapporte à ses conditions, et qui organise la genèse des solutions elles-mêmes. Sans cette idée, les solutions n'auraient pas de sens* » (1969, p. 70). C'est le privilège des solutions sur les problèmes⁵⁴ que Fabre (2006, p. 1-3) identifie comme l'un des huit postulats de l'image dogmatique de la pensée⁵⁵.

Nous en tirons un premier enseignement : le sens des savoirs scolaires ne peut être maintenu que si les liens entre savoirs et problèmes sont travaillés et établis à l'école. Il n'y a pas de savoirs en dehors des problèmes avec lesquels ils entretiennent une relation dynamique (Bachelard, 1938/1993, p. 14 ; 1949/1998, p. 35). La déconnexion entre un savoir qui existerait en soi et les problèmes est illusoire (Dewey, 1993, p. 210). Ainsi, le problème ne disparaît pas lors de sa résolution. C'est le problème, sa solution et le rapport qui lie problème et solution qui constituent le savoir. Et comme le précise Gadamer : « *seul possède le savoir qui possède les questions* » (1976, p. 211). Tout cela pose la question des conditions de possibilité didactiques d'un tel enseignement, notamment si on la met en relation avec les conceptions épistémiques dominantes⁵⁶ des enseignants de SVT.

⁵⁴ « *Et, c'est un préjugé social, dans l'intérêt de nous maintenir enfant, qui nous convie toujours à résoudre des problèmes venus d'ailleurs, et qui nous console ou nous distrait en nous disant que nous avons vaincu si nous avons su répondre : le problème comme obstacle, et le répondant comme Hercule. Telle est l'origine d'une grotesque image de la culture, qu'on retrouve aussi bien dans les tests, dans les consignes du gouvernement, dans les concours des journaux* » (Deleuze, 1968, p.205).

⁵⁵ Parmi les autres, Fabre distingue : le postulat de la bonne volonté de penser et de la bonne nature de la pensée; le postulat de l'idéal ou du sens commun, le postulat du modèle ou de la reconnaissance, le postulat de la représentation qui ramène toute différence au même; le postulat de l'erreur comme seul négatif de la pensée; le postulat de la prééminence du vrai et du faux; le postulat de la supériorité du savoir sur l'apprendre.

⁵⁶ Coquidé (2000, p. 26) préfère l'emploi de conception épistémique à celle d'épistémologie spontanée mobilisée par Désautels et Larochelle (1993) et Orlandi (1991, p. 127-128) pour

6.2. Une conception épistémique classique des enseignants de SVT : le problème réduit à sa fonction de motivation et la primauté de la justification sur la recherche dans la construction des explications

Une seconde critique adressée à l'enseignement des sciences concerne la tradition positiviste et empiriste qui caractérise les « *conceptions épistémiques* » des enseignants de SVT. Ainsi de nombreux travaux en didactique des sciences montrent que la mise en œuvre d'une démarche scientifique qui prend l'observation comme point de départ et qui permettrait d'atteindre (à chaque fois) une vérité scientifique préexistante reste très prégnante chez les enseignants de sciences (Coquidé, 1998, p. 122) et empêche l'entrée des élèves dans une véritable culture scientifique. Cette forme de mise en scène du savoir scientifique conduit les enseignants à présenter « *une image déformée des connaissances et des travaux scientifiques* » (Porlan Ariza et al., 1998, p. 209) et, bien que la « *contestation de ce modèle soit devenue un classique de la didactique des sciences* » (Clément, 1998, p.76), il semble que cette prescription, non inscrite dans les instructions officielles, conduit à un enseignement dogmatique des sciences⁵⁷ (ce qui rejoint la critique du propositionnalisme du savoir scolaire évoquée à la section 5.2.). Les bonnes explications sont enseignées et l'enseignant souhaite que les élèves les acceptent sans les questionner, sans leur montrer d'autres explications possibles et en quoi les premières sont meilleures. De là à encourager les élèves à envisager d'autres explications, il n'en est même pas question. Il est intéressant de préciser avec Jouary que « *cette conception cohabite avec la conception inverse* » (2002, p.24), c'est-à-dire avec une vision totalement relativiste de la science. Puisqu'on ne peut pas montrer qu'une théorie est vraie ; que dans le passé, d'autres théories ont longtemps été considérées comme vraies et que certaines de nos théories seront réfutées dans les années qui viennent, alors toutes ces théories se valent. C'est bien dans une position qui évite à la fois le dogmatisme et le relativisme qu'il nous faut mettre les élèves si l'on veut qu'ils accèdent à une culture

montrer qu'il est difficile d'envisager les différents éléments, sur lesquels repose cette conception, consciemment ou non, de façon hautement organisée et cohérente.

⁵⁷ « *À enseigner les sciences comme des vérités enfilées comme des perles, on enseigne tout sauf des sciences* » (Jouary, 2003, p. 162).

scientifique. Rumelhard donne quelques pistes de réflexion pour que la biologie puisse participer à la constitution d'une culture scientifique : « *l'initiation au savoir conçu comme processus d'objectivation doit inclure un travail de détournement, de décentrement, de déplacement des intérêts immédiats, d'épreuves à surmonter. Mais le savoir scientifique doit se réintégrer dans les représentations et les pratiques individuelles et sociales* » (1992, p. 145). Il met ici en avant une tension entre les aspects méthodologiques et les résultats visés.

Cette tradition empiriste se manifeste également d'une autre façon dans l'enseignement des sciences. Ainsi, l'essentiel des activités proposées aux élèves dans les cours de SVT consistent à valider expérimentalement les explications qui correspondent aux explications validées par la communauté scientifique (Bomchil & Darley, 1998). Compte tenu du cadre construit, cela conduit à restreindre l'explication à sa phase de la justification (à expliquer pour faire référence à la figure I-6). Pour reprendre le vocabulaire de Meyer, cela revient à nier la différence problématologique et à rabattre l'explication au niveau apocritique.

La critique de cette vision positiviste et empiriste de l'enseignement des sciences, issue de la leçon de chose, débute dès les années 1960 à travers les ouvrages de Legrand (1960) et de Best (1973), le développement des travaux de l'INRP (autour de Legrand, Best et Host)⁵⁸ et l'introduction des activités d'éveil à l'école primaire. Ainsi on peut relever dans *Recherche pédagogique*, n° 74 (1975), une description de la première étape de la méthode de la découverte : « *formulation d'un problème à partir d'une situation bien intégrée à l'expérience de l'enfant, et qui permet l'étonnement et les questions individuelles. Une confrontation et structuration collective orientées par le maître permettent de trier et de reformuler les questions pour aboutir à un problème précis, correspondant à une activité expérimentale ayant une signification scientifique, et telle que le groupe tout entier en fait son problème et organise son travail* » (*ibid.*, p. 38). Dans le secondaire, les instructions officielles récentes⁵⁹ ont introduit l'idée de problème dans le cadre de la démarche scientifique ou démarche d'investigation. Dans ces différentes propositions, le problème est présenté comme point de départ de la recherche et il a pour fonction d'ancrer l'activité scientifique dans le vécu des élèves. La principale caractéristique de ces problèmes est qu'ils ont une dimension psychologique, dimension importante puisque « *tout commencement ne peut être que psychologique* » (Fabre, 1995, p. 49). C'est avec le souci de *donner du sens* au cours

⁵⁸ Ce qui conduit à la mise en place des activités d'éveil à l'école primaire.

⁵⁹ L'idée de problème est présente depuis les instructions officielles de 1987 pour le lycée.

de SVT, de motiver les élèves, d'assurer la dévolution⁶⁰ du jeu : à savoir rechercher une explication, que le problème est introduit dans les instructions officielles. Mais c'est une définition restreinte du concept de sens qui est mobilisée ici qui présuppose une continuité épistémologique surajoutée « *à son principe fécond d'ancrage psychologique* » (*ibid.*, p. 48)⁶¹.

La tradition empiriste, qui reste très prégnante dans les conceptions épistémiques des enseignants de SVT, les conduit à survaloriser l'observation et l'expérience par rapport aux concepts et à la théorie. Ce tropisme permet difficilement d'envisager le rôle épistémologique du problème dans la dialectique des faits et de la théorie. Comme l'empirisme considère que seuls les faits sont à la base d'un savoir scientifique, le problème a seulement un rôle motivationnel ce qui « *nous englué dans le pittoresque de l'expérience première : dans une expérience non surveillée par la théorie* » (*ibid.*)⁶². Par rapport à notre cadre épistémologique, cela revient à ignorer la différence entre les réponses problématologiques et les réponses apocritiques en survalorisant ces dernières. Les conséquences de cela sont d'une part, la réduction du sens du problème à l'enrôlement des élèves dans les activités scolaires et, d'autre part, la primauté accordée à la justification dans le cadre d'une logique formelle. C'est ce que note Astolfi (2007) lorsqu'il précise, commentant la première étape de la méthode de la découverte présentée dans *Recherche pédagogique*, n° 74, que « *les problèmes de méthode de la découverte sont des problèmes de logique* [logique des classes, séparation de variables...] *et non pas des problèmes de concepts* ».

⁶⁰ Dans le sens de la théorie des situations didactiques de Brousseau : « *Il ne suffit pas de "communiquer" un problème à un élève pour que ce problème devienne son problème et qu'il se sente seul responsable de le résoudre. Il ne suffit pas non plus que l'élève accepte cette responsabilité pour que le problème qu'il résout soit un problème "universel" dégagé de présupposés subjectifs. Nous appelons "dévolution" l'activité par laquelle le professeur cherche à atteindre ces deux résultats* » (Brousseau, 1986, p. 39).

⁶¹ Ce dont on ne peut pas soupçonner les auteurs de *Recherche pédagogique* qui sont à l'origine de la référence à Bachelard et à la nécessaire rupture épistémologique entre les savoirs quotidiens et les savoirs scientifiques.

⁶² « *Puisqu'on croit à la continuité entre la connaissance commune et la connaissance scientifique, on travaille à la maintenir, on se fait une obligation de la renforcer. Du bon sens, on veut sortir lentement, doucement, les rudiments du savoir scientifique. On répugne à faire violence au sens commun. Et dans les méthodes d'enseignement élémentaire, on recule, comme à plaisir, les heures d'initiations viriles, on souhaite garder la tradition de la science élémentaire, de la science facile; on se fait un devoir de faire participer l'étudiant à l'immobilité de la connaissance première. Il faut pourtant en arriver à critiquer la culture élémentaire. On entre alors dans le règne de la culture scientifique difficile* » (Bachelard, 1953/2000, p. 212-213).

6.3. Apprendre les sciences de la vie : explication et problématisation

Nous pouvons proposer une synthèse (tableau 1-4) des deux critiques formulées : celle du formalisme et celle de l'empirisme pour proposer une conception rationaliste de l'enseignement scientifique qui s'appuie sur la pédagogie de Bachelard qui est « *bien une pédagogie du non, qui problématise à la fois le formalisme de l'enseignement traditionnel et l'empirisme de "leçon de chose"* » (Fabre, 1995, p. 49). Ainsi, pour fonder une pédagogie rationaliste qui évite à la fois la pédagogie des réponses et celle des questions, il faut développer l'idée d'une situation-problème dans une perspective de problématisation (Fabre, 1993).

Tableau 1-4. Une conception rationaliste de l'enseignement des sciences de la vie (d'après Fabre, 1995, p. 49-50)

Type de pédagogie	Au niveau épistémologique	Au niveau psychologique	Explication	Savoir – problème
Formalisme <i>Pédagogie dogmatique</i>	Discontinuité entre connaissance commune et connaissance scientifique	Pas d'ancrage psychologique dans le vécu	Réduite à la justification : expliquer les réponses	Le savoir sans problème.
Rationalisme <i>Nouvel esprit pédagogique</i>	Discontinuité entre connaissance commune et connaissance scientifique	Ancrage polémique dans le vécu	Recherche et justification : comprendre les problèmes et expliquer les réponses	Relation dynamique entre savoir et problème
Empirisme <i>Leçon de chose</i>	Continuité entre connaissance commune et connaissance scientifique	Ancrage positif dans le vécu	Réduite à la justification : expliquer les réponses	Des savoirs sans problème.

Pour s'inscrire dans une pédagogie rationaliste de l'enseignement des sciences de la vie à l'école, il convient donc de déployer le savoir scolaire dans une logique du sens, comme nous l'avons indiqué à la section 5., logique du sens conçue par Deleuze pour « *bien distinguer le niveau des problèmes (qui relève du sens) et celui des solutions* » (Fabre, 2006, p. 3). Fabre décrit cette logique du sens en trois arguments principaux :

- « *la proposition logique se déploie dans les trois dimensions de la manifestation⁶³, de la signification⁶⁴ et de la référence⁶⁵* », « *chaque dimension renvoyant aux autres : c'est le cercle de la proposition* » (Fabre, 1999, p. 60) ;

⁶³ Manifestation : rapport du sujet à ses actes

⁶⁴ Signification : rapport aux concepts et aux liaisons entre concepts

- le sens ne se confond avec aucune de ces trois dimensions, c'est une quatrième dimension : « *une dimension un peu spéciale que l'on ne peut saisir directement et que l'on doit inférer au contraire à partir du cercle où nous entraînent les autres* » (*ibid.*, p. 61) ;
- le sens peut être approché de deux façons différentes : « *dans sa neutralité, comme résidu d'une réduction, d'une mise entre parenthèses des dimensions de la proposition, ou au contraire dans sa puissance génératrice, comme ce à partir de quoi la proposition peut se construire* » (*ibid.*, p. 62).

Dans le cadre de cette logique du sens, on comprend que le sens du savoir scolaire ne peut pas se réduire à la dimension de la manifestation. Quelle est la fonction de l'explication et du problème dans le savoir scolaire ? Déployons cette question dans les trois dimensions du sens en suivant Fabre (1997, p. 50), afin de voir à partir de quoi la proposition peut se construire :

- comment le sujet peut-il s'inscrire dans les tâches scolaires ? (manifestation) ;
- quelle est la valeur du savoir scolaire enseigné ? (signification) ;
- quel lien les tâches scolaires ont-elles avec les pratiques sociales de référence ? (référence).

Du point de vue de la manifestation, la recherche d'une explication doit pouvoir s'appuyer sur le vécu de l'élève ou leurs explications spontanées et c'est aussi ce savoir qui va orienter la recherche des élèves⁶⁶.

Du point de vue de la signification, il faut que les explications construites soient des explications qui valent la peine de l'être, qu'elles aient une signification épistémologique pour la communauté scientifique et qui, en même temps, soient opérantes pour les élèves (Orange, 1994). Cela renvoie à la question du choix des problèmes à traiter en classe en fonction des programmes définis par les instructions officielles. Comme le précise Fabre (1997, p. 50), le problème a pour fonction d'articuler le déclaratif au procédural, ou pour le dire dans les termes de Rebol : le « *savoir que* » au « *comprendre* » (1980).

Au niveau de la référence, nous pensons que c'est l'activité de recherche scientifique, (c'est-à-dire la recherche d'explication, telle que nous l'avons décrite, avec les deux moments de la découverte et de la justification) qui doit constituer « *le paradigme de l'apprentissage* » (Fabre, 1993). Notre positionnement épistémologique ayant mis au cœur de la recherche d'explication la construction des

⁶⁵ Référence : rapport à un état de chose, à un évènement du monde

⁶⁶ L'idée de psychanalyse de la connaissance « *pense l'apprentissage comme un remaniement à la fois des représentations et des intérêts* » et Fabre indique qu'à quelques rares exceptions (Peterfalvi, 2001) « *cette double perspective n'est jamais assumée* » (Fabre, 2001, p. 114).

problèmes (expliquer le problème), la problématisation devient le moyen de l'apprentissage.

Il convient, après avoir montré qu'un enseignement des sciences de la vie doit permettre aux élèves de s'engager dans une activité de problématisation, de préciser comment nous allons pouvoir rendre compte de ce processus.

6.4. La problématisation : processus et produit

Les intentions didactiques qui nous ont amené à mettre en place les situations de classe analysées dans cette recherche proviennent des travaux menés par C. Orange en didactique des SVT (1993, 2002, 2005) et par l'équipe du CREN, sous la direction de Michel Fabre et Christian Orange (Fabre, 1993, 1999 ; Fabre & Orange, 1997). Ces travaux, qui postulent que la problématisation correspond à la construction des raisons en SVT, ont établi que les moments de débats scientifiques en classe permettent aux élèves d'accéder à des savoirs ayant un caractère de nécessité. Ici, il ne s'agit pas de refaire l'historique des travaux menés au CREN, mais de voir quels sont les points saillants qui vont orienter notre travail de recherche.

Dans les différents travaux conduits au sein de notre laboratoire, plusieurs modélisations de l'activité de la problématisation ont été produites, certaines non spécifiques au champ des sciences de la vie et d'autres spécifiques du champ des SVT (Fabre, 1999 ; Orange, 1999, 2000, 2003a ; Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009). Parmi ces tentatives de modélisation, certaines tentent de rendre compte du processus, du déroulement, de la problématisation (les macrostructures de débats scientifiques dans Fabre & Orange, 1997 ; Fabre, 1999 ; Orange, 2003a ; Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009), d'autres du produit de la problématisation (les « espaces de contraintes » par exemple). Voyons comment nous pouvons rendre compte du processus de recherche d'une explication dans le champ dans les sciences de la vie en mobilisant ces différentes propositions et quelles sont les conséquences que nous allons en tirer d'un double point de vue théorique et méthodologique.

6.4.1. La dynamique de la problématisation : les deux dédoublements

Dans le cadre de la différence problématologique présentée précédemment, la construction d'une explication, entendue comme un processus de problématisation, nécessite la distinction entre deux dimensions/niveaux : celle de la construction du problème et celle qui va de la position à la résolution du problème. Pour rendre compte de la construction du problème, nous allons solliciter deux auteurs, Bachelard et Dewey⁶⁷ qui nous donnent des pistes pour penser la dynamique de ce processus⁶⁸. Ces deux auteurs décrivent, chacun à leur manière, le processus de construction du problème comme un double dédoublement. Examinons ces deux dédoublements avant d'en tirer certaines conséquences pour une didactique de l'explication dans les sciences de la vie.

Le premier dédoublement est décrit par Dewey de la façon suivante : la transformation, par l'enquête, d'une situation indéterminée en une situation unifiée nécessite deux types d'opérations, *« l'une a un objet idéal ou conceptuel. Cet objet représente des moyens et des fins possibles de solution »* [...] *« L'autre est faite d'activités impliquant les techniques et les organes de l'observation »* (1967/1993, p. 183). Bachelard le décrit comme un dédoublement des faits et de la théorie. Deux remarques à propos de ce premier dédoublement :

- c'est à partir d'une situation indéterminée ou situation problématique que s'opère ce premier dédoublement ;
- idées explicatives et faits, théories et faits sont toujours en liens, les faits ne sont pas indépendants de la théorie et réciproquement, *« pas de rationalité a vide, pas d'empirisme décousu »* (Bachelard, 1949/1998, p. 3)⁶⁹. De plus, comme chez Meyer, il n'y a rien de donné ni chez Dewey et ni chez Bachelard. Tout est construit, les faits comme les théories.

Comme nous venons de l'indiquer, les faits et les théories sont construits lors de la construction du problème. Dewey donne des indications sur ces liens puisque

⁶⁷ Dewey développe une théorie de l'enquête qui correspond à *« la transformation contrôlée ou dirigée, d'une situation indéterminée [ou situation problématique] en une situation qui est si déterminée en ses distinctions et relations constitutives qu'elle convertit les éléments de la situation originelle en un tout unifié »* (1967/1993, p. 169). En cela l'enquête scientifique peut bien avoir à voir avec l'explication, puisque *« expliquer, c'est relier »* (Fageault-Largot, 2002, p. 505).

⁶⁸ Il convient de souligner que ces deux auteurs définissent une épistémologie de la construction des problèmes, mais ne sont pas d'accord sur tout, notamment sur la question de la rupture ou de la continuité entre le savoir quotidien et le savoir scientifique. Pour une comparaison précise de ces deux philosophies, voir Fabre, 2005, 2008.

⁶⁹ Dewey indique que *« l'observation des faits et la suggestion des significations ou idées naissent et se développent en corrélation »* (1967/1993, p. 174).

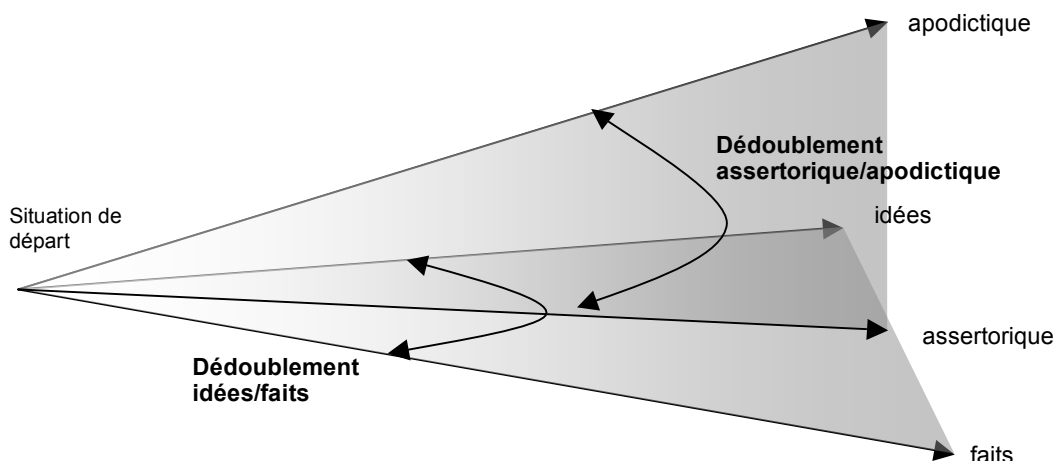
l'idée « *provoque et dirige de nouvelles observations qui fournissent une nouvelle matière factuelle* » (1967/1993, p. 183-184) et « *l'accumulation de ces faits suggèrent des hypothèses : c'est la dialectique des indices et des preuves* » (Fabre, 2006, p. 96). « *Dans ce cadre, Dewey réinterprète l'induction et la déduction. L'induction c'est la préparation de l'objet de l'enquête en vue d'en faire un objet type. La déduction concerne la formation des hypothèses et le déroulement de leurs conséquences* » (*ibid.*). La question qui se pose est de savoir comment est contrôlée l'enquête, qu'est-ce qui norme les relations entre faits et idées ?

La nécessité du contrôle de l'enquête correspond au second dédoublement qui correspond à ce que Bachelard appelle la « *surveillance intellectuelle de soi* », c'est-à-dire la division de la pensée qui agit et qui se juge elle-même en train d'agir⁷⁰ (Bachelard, 1949/1998, p. 60). Voilà comment Bachelard décrit ce « *dédoublement psychologique* » caractéristique de l'esprit scientifique : « *toute pensée scientifique se dédouble en pensée assertorique et pensée apodictique, entre une pensée consciente du fait de penser et pensée consciente de la normativité de penser* » (*ibid.*, p. 25). Ce second dédoublement fait apparaître d'un côté ce qui relève de l'assertorique, ce qui est ainsi et qui aurait pu être autrement (les faits et les idées et les liens entre ces faits et ces théories) et sur un autre plan, ce qui relève de l'apodictique et qui fonde les idées en nécessité, c'est bien la spécificité de l'approche de Bachelard de considérer que « *la science n'a pas d'objet hors de sa propre activité ; qu'elle est en elle-même, dans sa pratique, productrice de ses propres normes et du critère de son existence* » (Lecourt, 2002, p. 10).

Nous représentons ces deux dédoublements sur la figure I-4. Le premier dédoublement se place dans le plan horizontal et correspond au champ de l'assertorique : c'est la pensée consciente de penser (il n'y a pas de pensée dans un syncrétisme fait/idée intégral). Le second dédoublement, qui mobilise la pensée consciente de la normativité de penser dans le plan vertical, peut permettre de fonder le caractère nécessaire de certaines idées.

⁷⁰ « *Connaître ce soutien de l'apodicticité qui encombre la connaissance, c'est vivre une division de son propre moi, division qu'on peut bien caractériser par les deux mots existence et surexistence. Le sujet promu à cette surexistence de deux sujets voit s'installer en soi la dialectique du sujet contrôlant et du sujet contrôlé. Il installe en son propre esprit, en face de son je, une sorte de tu vigilant* » (Bachelard, 1949/1998, p. 60).

Figure I-4. Les deux dédoublements de la problématisation à partir d'une situation de départ



Quelles sont les conséquences didactiques de ces deux dédoublements pour une représentation du processus de construction d'une explication dans le champ des sciences de la vie ? Quelles sont les conditions de possibilité à l'engagement des élèves dans la construction d'une explication ?

Dans un premier temps, il faut engager les élèves dans une situation qui nécessite la production d'une explication pour la classe qui peut se constituer, à un moment donné, en un collectif de pensée (au sens de Fleck) au sein duquel les explications seront construites, discutées et validées. Les moments d'évaluation diagnostique (France : MÉN, 2007, p. 68) peuvent permettre d'engager chaque élève dans la construction de cette explication.

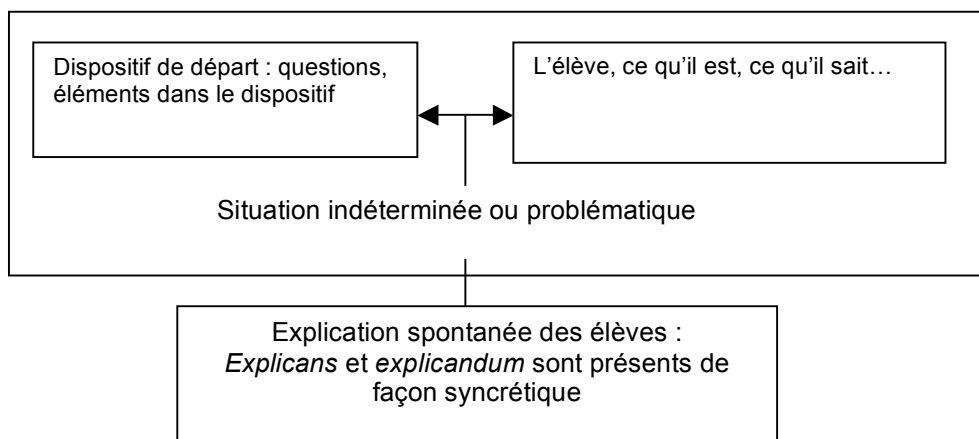
La situation d'évaluation diagnostique est à l'interaction entre :

- un dispositif qui contient une question⁷¹ (demandant une explication qui présente les caractéristiques décrites à la section 6.3.), certaines contraintes de situations ;
- et des élèves qui possèdent une expérience du monde et, par-là, disposent de connaissances communes.

Cette situation permet généralement à l'élève de produire une première explication, une explication spontanée (figure 1-5).

⁷¹ Il semble que cette question doit posséder un certain nombre de caractéristiques : elle doit être accessible à partir de la connaissance commune et doit contenir en creux le problème à travailler, c'est-à-dire que la question de départ engage quasi-obligatoirement les élèves à se confronter au problème visé sans que celui-ci soit clairement explicité et ait, à ce moment le statut de problème.

Figure 1-5. La situation de départ



C'est à partir⁷² de cette explication spontanée, qui peut fournir de façon syncrétique des idées et des faits, que pourra s'opérer les deux dédoublements décrits. Ces dédoublements n'ont pas lieu naturellement, ni facilement : « *il faut pourtant en arriver à critiquer la culture élémentaire. On entre alors dans le règne de la culture scientifique difficile* » (Bachelard, 1953/2000, p. 213). Ils n'auront lieu que si les élèves peuvent s'engager dans une critique des explications spontanées. Cela nécessite que les élèves soient amenés à expliciter leur explication de départ et/ou à confronter plusieurs explications spontanées possibles.

À partir de là, il s'agit pour les élèves de procéder à une désyncrétisation de l'*explicandum* et de l'*explicans*. C'est le premier dédoublement qui fait intervenir des raisonnements dans le cadre d'une logique de la découverte. Les deux modes de raisonnement qui peuvent permettre de procéder à ce premier dédoublement sont, si l'on suit Meyer (1979), l'abduction et l'induction (figure. I-5). Par exemple, un élève, qui cherche à expliquer pourquoi tout l'organisme grandit à partir de ce que l'on mange, peut mettre en place un raisonnement analogique pour déterminer un mode de distribution des nutriments dans l'organisme et produire une explication par un système de tuyaux sanguins qui irriguent l'organisme ou encore un système de distribution par un circuit clôt avec une pompe. Nous sommes bien en présence de faits (les aliments entrent par la bouche, tout l'organisme grandit) et de deux idées qui mettent en relation ces faits (irrigation par des tuyaux sanguins, irrigation par circuit clos avec une pompe). On pourrait en rester là, mais aucun savoir scientifique n'aurait encore été produit puisque l'on reste dans le champ de l'assertorique.

C'est le second dédoublement qui permettra d'accéder à des principes de nécessité. Poursuivons sur notre exemple pour comprendre comment on peut accéder

⁷² Le « *à partir de* » tient ensemble l'expérience quotidienne des élèves (leur culture) et la tâche proposée (avec les éléments qu'elle contient).

à ces principes de nécessité. Nous avons, dans notre exemple, deux idées explicatives qui peuvent expliquer toutes les deux que tout l'organisme grandit à partir de ce que l'on mange : on a construit une alternative qui pourrait être mise à l'épreuve, on peut attendre le temps de l'expérience, mais on peut également poursuivre l'enquête (au sens de Dewey). De nouvelles inférences peuvent être faites, des faits nouveaux peuvent être recherchés. Il convient de souligner qu'il ne s'agit pas d'une investigation empirique au hasard, les inférences sont dirigées ou contrôlées par un système (Dewey, 1967/1993, p. 177), cela correspond à ce que nous avons appelé jusque-là le contexte problématique. Ainsi, si l'élève sait que le sang n'est pas un aliment consommé par les muscles, mais plutôt un transporteur, alors il peut mener l'inférence suivante : comme les muscles n'explorent pas et que le sang n'est pas consommé, cela signifie que le sang ne s'accumule pas dans les muscles, il doit donc circuler. La circulation du sang n'est plus une idée comme une autre, elle devient nécessaire et c'est bien l'enquête qui lui donne son caractère de nécessité.

Mais on pourrait envisager un autre processus. À partir de la première idée explicative, celle de l'irrigation par des tuyaux sanguins, on pourrait poursuivre l'enquête et se rendre compte de son impossibilité (sur la base de certains principes, de certains présupposés qui constituent le contexte problématique, en relation, pourquoi pas avec certains faits convoqués à l'occasion) : cela peut alors donner lieu à la recherche de nouvelles idées explicatives qui, si elles sont en adéquation avec les faits accumulés, pourraient acquérir, dans le cadre de cette enquête, un caractère nécessaire.

Le second dédoublement provoque une « *ré-organisation du savoir* » et constitue le sujet en rationalité en lui permettant d'accéder à « *des principes de nécessité* » (Bachelard, 1949/1998, p.11). Il permet le passage d'une connaissance commune à un savoir scientifique dans la mesure où le savoir a acquis une valeur d'apodicticité⁷³. Les faits ou idées à partir desquels sont construits les raisonnements ont bien un statut assertorique puisqu'ils ne sont pas discutés dans leurs fondements, mais comme ils sont utilisés dans un raisonnement, ils s'inscrivent dans un mouvement apodictique⁷⁴.

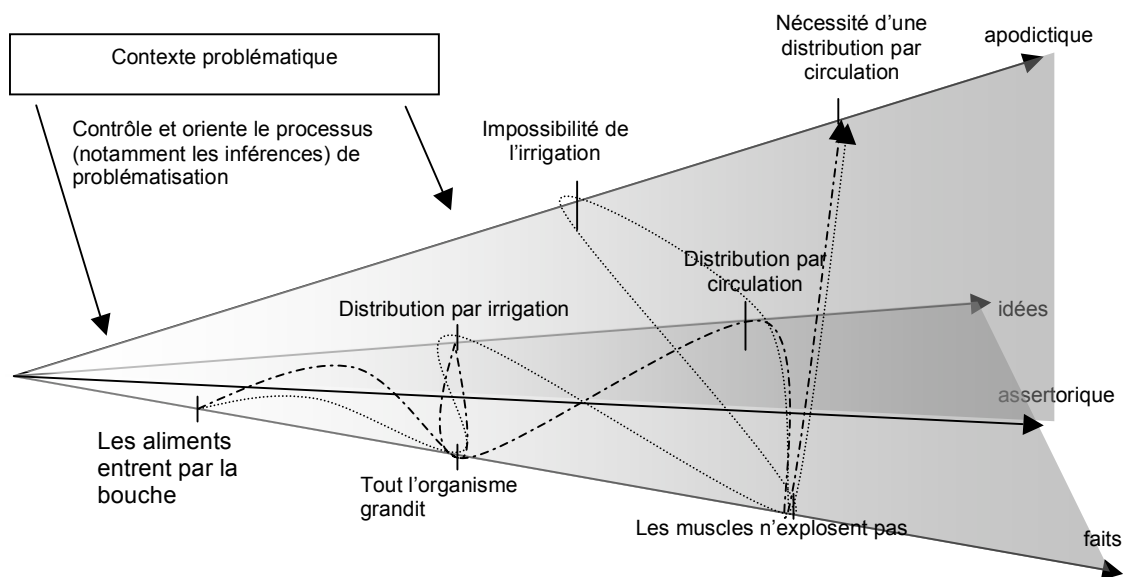
Ainsi dans la recherche d'une explication scientifique, il n'y a pas qu'un parcours possible, il y en a plusieurs (la figure 1-6 représente les deux parcours que nous venons de décrire, mais il pourrait y en avoir d'autres), mais il y a des passages

⁷³ Même si Dewey est un philosophe pragmatique, le processus de l'enquête chez Dewey « *obéit à un double critère, pragmatique et rationnel. Il ne suffit pas que "cela marche", encore faut-il savoir pourquoi (1967/1993, p. 176, 345, 347)* » (Fabre, 2005).

⁷⁴ C'est un sens spécifique du terme assertorique que nous mobilisons ici, puisque même si la proposition en elle-même est assertorique, c'est dans un mouvement apodictique qu'elle est assertée.

obligés : désynchronisation des faits et des idées explicatives et accès à des principes de nécessité. La figure 1-6 représente les différents trajets possibles dans ce processus de problématisation.

Figure 1-6. Deux enquêtes possibles pour expliquer la distribution des nutriments à tout l'organisme : deux parcours, mais des passages obligés



Quelques remarques à propos de ce processus.

La possibilité de s'engager dans une activité de problématisation implique que les élèves ne soient pas submergés par le problème⁷⁵, c'est-à-dire qu'ils aient des éléments à leur disposition pour envisager une direction pour engager l'enquête. Dewey parle de problèmes qui donnent à penser : « ceux qui se présentent incomplets et en cours de développement, et par lesquels le déjà connu peut être utilisé comme signe à partir duquel on peut inférer ce qui va probablement se passer » (2003, p. 127). L'enquête, comme la recherche chez Meyer, nécessite de faire appel au contexte dans lequel elles se déroulent, et le contexte contient les présuppositions de l'enquêteur puisqu'« elles sont déterminantes dans le lien question-réponse ». Ainsi, poursuit Meyer, « si le contexte est ce qui rend possible un lien particulier question-réponse [...] il est nécessairement la condition de la signification », signification qui permet l'extension cognitive (1979, p. 291)⁷⁶. Les

⁷⁵ Car dans ce cas « nous ne pensons plus et nous succombons à la dépression » (Dewey, 2003, p. 127).

⁷⁶ Gadamer précise que « le sens de la question est donc la direction dans laquelle seule peut s'effectuer la réponse, si elle veut être une réponse sensée, significative » (1976, p. 208).

inductions, les métaphores que les élèves vont pouvoir mobiliser dans le cadre de l'enquête, les éléments significatifs qu'ils vont retenir, les concepts qu'ils vont faire fonctionner, en fonction du projet explicatif, constituent le contexte problématique de l'enquête. Comme le précise Bachelard, « *la connaissance en mouvement est ainsi une manière de création continue : l'ancien explique le nouveau et l'assimile ; vice versa, le nouveau affermit l'ancien et le réorganise* », ainsi, « *par principe, l'esprit qui connaît doit donc avoir un passé. Le passé, l'antécédent est (...) le matériel de l'explication* » (1928/1981, p. 15).

Ce contexte problématique est déterminant pour rendre compte du processus de problématisation dont il convient d'explicitier un peu le contenu et la fonction :

- le contexte problématique ne contient pas les éléments dont il est question dans l'enquête, ce dont on parle, mais de l'ensemble des éléments avec lesquels on pense : les présupposés, les concepts, notions, opérations, images... ;
- c'est par rapport à ce contexte que certains éléments vont être mis hors question. Gadamer précise que la position de la question « *implique que soient explicitement fixées les présuppositions auxquelles on tient et à partir desquelles se révèlent le problématique, ce qui est encore ouvert* » (1976, p. 210). La problématisation nécessite un doute localisé⁷⁷ et non un doute hyperbolique comme le doute cartésien. Fabre précise qu'« *une question ne peut surgir que si tout n'est pas mis en question* » (1999, p. 63), ce qui reprend la métaphore de Wittgenstein : pour qu'une porte puisse tourner, des gonds sont nécessaires (1958/1987, p. 89). Ce doute, Fabre en fait une condition d'accès au problématique (1993, p. 95)⁷⁸. Le doute possède aussi un caractère provisoire, puisque les certitudes sur lesquelles on s'appuie pour raisonner pourront toujours faire l'objet d'une autre enquête, c'est le processus de « *changement de contexte* » que l'on retrouve aussi bien chez Dewey (1967/1993, p. 184-185) que chez Meyer⁷⁹. Ces changements de contexte

⁷⁷ Bachelard précise qu'il reste toujours « *un peu de doute potentiel en réserve dans les notions scientifiques que le philosophe tient trop simplement comme dogmatiques. Ce doute potentiel est bien différent du doute préalable cartésien* » (1953/2000, p. 123).

⁷⁸ Il convient de distinguer le doute problématique de la modalité du problématique. Comme nous l'avons vu dans l'exemple précédent, le doute problématique peut permettre d'accéder, dans le cadre d'une enquête, à de l'apodictique qui est une autre modalité du jugement (les trois modalités du jugement définies par Kant sont : l'assertorique, l'apodictique et le problématique). Fabre définit le problématique comme « *une modalité du jugement qui intervient précisément dans l'activité de problématisation, lorsqu'il s'agit de retarder le moment de la solution pour prendre le temps de construire les problèmes* » (2009, p. 271).

⁷⁹ « *Une réponse apocritique ne renvoie donc pas à un quelconque niveau problématologique, et acquiert une certaine autonomie par rapport à tout processus de questionnement, ce qui permet à tout questionneur de pouvoir l'utiliser soit pour progresser, soit pour en faire une réponse pour un processus de questionnement autre que l'originnaire* » (Meyer, 1979, p. 153).

peuvent avoir lieu au cours du processus de problématisation, ce qui peut engendrer une réorganisation du savoir des élèves ;

- c'est également à partir du concept problématique que les inférences sont faites.

Une fois l'enquête arrivée à son terme, on peut utiliser d'autres modélisations pour décrire le produit de la problématisation.

6.4.2. Le produit de la problématisation d'un problème explicatif : une modélisation

Il ne s'agit pas de reprendre intégralement le travail de Christian Orange, mais de pointer les choix théoriques qui sous-tendent la présentation qu'il fait de l'activité de problématisation des élèves, puisqu'il s'agissait bien, à l'origine (Orange 1998, 2000), de caractériser le produit de l'activité de problématisation des élèves pendant les débats scientifiques en classe.

6.4.2.1. Explication, problématisation, modélisation

Dans les sections précédentes, nous avons essayé de définir une relation entre explication et problématisation. Orange a développé un rapprochement entre explication et modélisation. C'est à partir de là qu'il a pu proposer une représentation du produit de l'activité de problématisation sous forme d'« *espace de contraintes* » (*ibid.*).

La plupart des auteurs qui se sont intéressés à l'explication ou au modèle ont mis ces deux concepts en relation :

- Piaget définit les modèles « *comme des structures déductives tendant à atteindre la nécessité sans s'en tenir à la simple constatation ou description des phénomènes* » (1973, p. 11) et demande si « *le but du modèle demeure ou non d'expliquer le réel ?* » (*ibid.*, p. 12). Il répond à cette question en distinguant deux niveaux de description : celui des faits et celui des relations fonctionnelles entre les faits, ce qu'il appelle les lois (*ibid.*).
- Garcia précise que « *fournir une explication des phénomènes dans un secteur de la réalité physique, consiste, essentiellement, à en fournir un modèle explicatif. Mais ce qui est "explicatif" dans ces modèles, ce ne sont pas les idées intuitives qui pourraient être associées à certains des concepts : ce sont plutôt les relations structurelles entre les concepts eux-mêmes* » (1973, p. 111).

- Suzanne Bachelard propose également un rapprochement entre modèle et explication : « *les problèmes posés par l'usage du modèle renvoient toujours finalement à des questions fondamentales telle que : "qu'est-ce qu'expliquer pour la science de telle époque ?" Le modèle est un instrument d'intelligibilité* » (1979, p. 5).
- Vergnioux indique qu'on peut « *considérer que l'explication renvoie à la construction de modèles* » (2003, p. 37).

Quelques remarques à propos de ces citations.

Premièrement, les auteurs font généralement référence au modèle plus qu'au processus de modélisation qui est généralement laissé dans l'ombre. Le modèle pourrait être un moyen de donner à voir une explication se référant à un système complexe. C'est pour cela qu'un modèle ne peut pas être une simple description du réel.

Deuxième remarque : les différents auteurs font référence à deux niveaux de description au sein des modèles et ce sont les relations entre les éléments constitutifs du modèle qui semblent avoir un pouvoir explicatif.

Ces deux remarques nous conduisent à utiliser les recherches développées sur les modèles et la modélisation pour rendre compte l'activité de problématisation. Cependant, le caractère apodictique des relations entre certains éléments du modèle⁸⁰ est rarement envisagé dans les travaux sur la modélisation, ce qui va nécessiter certains aménagements sur la façon de représenter les modèles. Voyons, comment, à partir des travaux d'Orange, nous pourrions proposer une façon de rendre compte du produit de l'activité de problématisation des élèves.

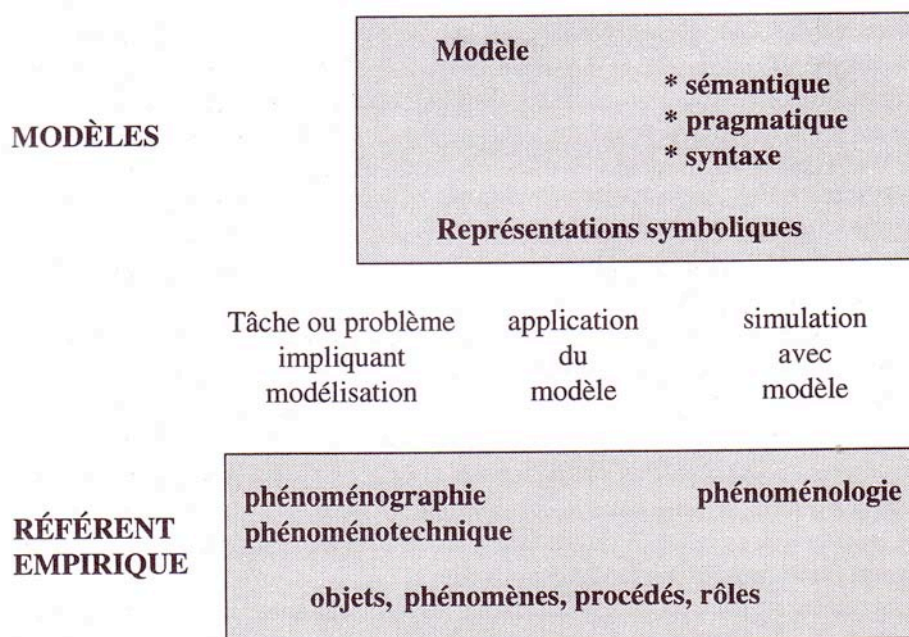
6.4.2.2. Le produit de l'activité de problématisation : une représentation sous forme d'« espaces contraintes et nécessités »

Compte tenu des liens entre explication et modélisation, nous pouvons mobiliser les recherches sur l'apprentissage de la modélisation (Martinand, 1992, 1994 ; Tiberghien, 1994 ; Orange, 1994b, 1997) pour avancer sur la question de la représentation du produit de la problématisation. En effet, si on s'intéresse

⁸⁰ Expliquer doit permettre de rendre compte « *des phénomènes à partir de quelque chose d'autre qu'eux mêmes à quoi on les associe, selon des relations considérées comme nécessaires* » (Delattre, 1979, p. 113-114).

essentiellement aux problèmes scientifiques explicatifs, qui consistent, pour le dire vite, à construire des modèles, alors la construction de ces problèmes (problématisation) est liée, « par construction », à la construction du modèle (modélisation). L'apport de Martinand est d'explicitier les deux niveaux de description des modèles⁸¹ (figure 1-7). Il propose ainsi de « *de distinguer le modèle de son référent, ou plutôt le registre de l'élaboration modélisante du registre du référent empirique* » (1992, p. 15).

Figure 1-7. Le premier schéma de la modélisation de Martinand (1994, p. 119)



Si l'on suit Martinand, le registre empirique contient les éléments qui font partie de la phénoménographie, de la phénoménologie et de la phénoménotechnique dans son sens bachelardien⁸². Ainsi : « *Si les modèles (en tant que signifiés, exprimés au moyen de systèmes signifiants) jouent des rôles analogues aux concepts et « théorèmes », ils réfèrent à un ordre de réalité que l'on appellera référent. Mais en sciences expérimentales, ce référent n'est pas constitué seulement d'objets et de phénomènes, ou d'actions sur des objets et d'interventions sur des phénomènes. Il y a "déjà-là" des descriptions, des règles d'action, des savoirs disponibles. Ils ont un*

⁸¹ Il s'appuie pour cela sur les travaux de Lemoigne (1977) et Walliser (1977). Ce dernier a utilisé les termes de champ empirique, modèle et champ théorique pour décrire la « *dynamique de la modélisation* ».

⁸² « *La phénoménotechnique étend la phénoménologie. Un concept est devenu scientifique dans la mesure où il est devenu technique, où il est accompagné d'une technique de réalisation* » (Bachelard, 1938/1993, p. 61).

statut “empirique”, même s’ils sont l’aboutissement de processus antérieurs d’élaboration conceptuelle, théorique ou modélisante, en ce sens qu’ils sont inconsciemment projetés sur la réalité » (Martinand, 1996). Cela signifie que le registre empirique peut accueillir à la fois les objets et des phénomènes, mais surtout des éléments très élaborés et déjà construits par ailleurs, comme des modèles factués (les boîtes noires de Latour, 1989, p. 10), et des données qui proviennent de l’utilisation d’instruments scientifiques, issus d’un travail théorique. Dans ce dernier cas, même si les techniques qui ont permis l’acquisition des données sont chargées de théories, si ces théories ne sont pas directement liées aux faits observés, on peut considérer à la suite de Hacking, qu’il s’agit d’observations qui relèvent du registre empirique⁸³. Sur ce point, même si leur position philosophique est différente⁸⁴, on peut tisser un lien entre le réalisme de Hacking et la phénoménotéchnique de Bachelard qui précise que « *la véritable phénoménotéchnique scientifique est donc bien essentiellement une phénoménotéchnique. Elle renforce ce qui transparait derrière ce qui apparait. Elle s’instruit par ce qu’elle construit* » (1934/1991, p. 16-17). Le registre empirique est donc conditionné, en partie, par le contexte problématique dans lequel se développe l’enquête. En ce sens il est bien construit.

Le registre du modèle contient les éléments liés à une organisation et/ou à un fonctionnement plus ou moins imaginé. Ces éléments constituent les tentatives de solutions proposées *pour expliquer* les éléments du registre empirique.

La construction d’un « espace de contraintes » ne retient pas tous les éléments qui pourraient appartenir au registre empirique ou au registre du modèle et qui auraient été rencontrés au cours du processus de problématisation, mais seulement ceux qui sont impliqués dans une articulation explicite entre « *des contraintes empiriques repérées comme pertinentes, avec des conditions de possibilité des modèles explicatifs* » (Orange, 2000, p. 27). Orange parle de « *l’établissement des raisons* » (Orange, 2003a, p. 62). Même si certaines raisons jouent un rôle au cours du processus, en orientant les choix des possibles, c’est seulement une fois le processus de problématisation achevé (à la fin d’un moment de débat scientifique en classe ou à un moment donné comme dans le cas d’étude de problématisation historique, Orange, 2000) que l’on peut représenter ces éléments et leurs relations au sein d’un

⁸³ C’est la position de Hacking : « *on peut considérer qu’il y a observation plutôt qu’inférence quand sont satisfaits les critères minimaux de Shapere et quand le faisceau de théories sur lequel repose l’observation n’est pas trop intimement lié aux faits examinés* » (1983/1989, p. 300). Pour Shapere, « *X est directement observé si, (1) l’information est reçue par un récepteur approprié et si (2) cette information est transmise directement, c’est-à-dire sans interférence, de l’entité X (qui est la source d’information) au récepteur* » (1982).

⁸⁴ Voir Sensevy et Santini (2006, p. 181) pour une discussion sur ce sujet.

« espace de contraintes ». C'est pour cela que nous pensons que les espaces de contraintes rendent compte du produit de la problématisation.

Nous avons pour l'instant décrit deux registres, mais l'apport déterminant d'Orange (1994a, 1997), par rapport à la proposition de Martinand⁸⁵, est qu'il introduit un troisième registre « *pour comprendre les enjeux et les difficultés de la construction des modèles et les intégrer dans un projet explicatif qu'elle représente* » et dont « *ils tirent leur valeur heuristique et d'intelligibilité, et qui correspond aux références explicatives spontanées ou habituelles du modélisateur* » (2000, p. 25). Orange désignera successivement ce troisième registre de paradigme explicatif (1994b, p. 30) à la suite de Toulmin (1973), puis de registre explicatif qu'il définit comme « *les éléments, techniques, heuristiques et d'intelligibilité avec lesquels sont construits de nombreux modèles d'une tradition de science normale donnée* » (1997).

Après avoir explicité ces deux façons complémentaires de rendre compte de l'activité de problématisation des élèves, comme processus ou comme produit, il faut que nous en discutons quelques conséquences méthodologiques à la lumière de certains travaux conduits en utilisant ce cadre théorique.

6.4.3. Conséquences méthodologiques de la distinction processus/produit pour rendre compte de l'activité de problématisation des élèves⁸⁶

6.4.3.1. Quelques « points critiques » par rapport au cadre de la problématisation en SVT

Certaines recherches menées en mobilisant le cadre théorique de la problématisation tel qu'il est développé par l'équipe de didactique des SVT du CREN, sur différents problèmes biologiques (en particulier autour des questions de fécondation ou de nutrition des végétaux : Beorchia & Lhoste, 2007 ; Desrues & Lhoste, 2008 ; Éhanno & Lhoste, 2008), nous a permis de pointer quelques points

⁸⁵ Martinand a ajouté depuis un troisième registre à son schéma de la modélisation : *la matrice cognitive* (2000).

⁸⁶ Cette section reprend en grande partie le travail réalisé avec Brigitte Peterfalvi depuis septembre 2007 qui ont donné lieu à la production d'un texte de travail présenté dans le cadre du séminaire problématisation et de deux communications : Lhoste, Peterfalvi & Orange (2007); Lhoste & Peterfalvi (2008). Ce qui est développé ici lui doit beaucoup.

critiques par rapport à ce cadre. Nous allons les préciser. Le travail de ces points critiques sera également un objectif de notre recherche.

Considérer le produit de l'activité de problématisation des élèves ou le processus de problématisation peut conduire à mettre l'accent sur des éléments différents qui orientent les interprétations plutôt sur un volet épistémique si l'on s'intéresse principalement au produit de la problématisation ou sur un volet plus cognitif si l'on s'intéresse davantage au processus même de l'activité de problématisation des élèves. Cela a plusieurs conséquences qu'il convient d'étudier maintenant.

Lorsque l'on s'intéresse à caractériser le produit de l'activité de problématisation, on est conduit à catégoriser les interventions des élèves au cours de débats scientifiques dans le cas des problématisations scolaires ou les éléments que les chercheurs indiquent prendre en compte dans les études sur les problématisations historiques. On peut alors s'interroger sur la façon dont sont catégorisés ces éléments dans les différents registres (RE/RM) et particulièrement sur la question de la signification de ces distinctions dans le cas des problématisations scolaires⁸⁷ (correspondent-elles ou non à des distinctions existantes dans l'esprit des élèves ?).

Une deuxième remarque renvoie aux liens entre cette catégorisation et le statut de contrainte ou nécessité qui leur est attribué, car il n'y a aucun automatisme entre la catégorisation d'une proposition d'un élève et d'un chercheur en fonction d'un registre et son statut épistémique (de contrainte, de nécessité)⁸⁸. Orange précise que tous les éléments du registre du modèle n'ont pas automatiquement un caractère de nécessité et proposait de ne conserver dans les espaces de contraintes que celles « *qui contiennent des éléments critiques de nature empirique ou conceptuelle* » (2000, p. 66). Mais cela ne lève pas le flou sur la distinction entre *contrainte* et *nécessité*, indépendamment du registre auquel réfère l'énoncé. Orange utilise le terme de « *mise en tension* » qui a été utile car il permettait de mettre l'accent sur le caractère construit, à la fois des nécessités sur le modèle et des contraintes empiriques. Cela permettait d'éviter un retour à une conception empiriste de la science puisque, selon Bachelard, c'est « *par l'enchaînement conçu rationnellement, que les faits hétéroclites reçoivent leur statut de faits scientifiques* » (1949/1998, p. 123). Mais aujourd'hui, ce terme nous paraît plutôt masquant et l'on cherche à déterminer ce

⁸⁷ Dans le cas de problématisations chez les chercheurs, il nous semble qu'ils sont conscients de ces différences de statuts. Cela semble très différent dans le cas de problématisation scolaire où un des objectifs de l'enseignant est justement d'aider les élèves à construire ces distinctions pour sortir du syncrétisme caractéristique de la pensée non-scientifique. Orange (2000) précise d'ailleurs que l'une des fonctions du débat est de permettre ce travail de désyncrétisation (ce qui ne veut pas dire, bien entendu, que cela conduit les élèves à une distinction explicite des registres).

⁸⁸ Précisons que c'est la construction des nécessités sur les solutions possibles qui distingue la problématisation de la modélisation.

qu'il recouvre. Avant de mettre en œuvre ces distinctions dans des études de cas, il convient de préciser un peu ce qui permet de distinguer les statuts de contrainte et de nécessité. Nous considérons comme contrainte un déjà-là convoqué dans un raisonnement actuel, alors qu'une nécessité serait un construit nouveau, sur la base d'un raisonnement. Deux remarques : une nécessité relève de *l'apodictique*, au sens de « *il ne peut pas en être autrement* » et c'est par-là qu'elle a un caractère généralisant en venant contraindre les solutions possibles. Cela nécessite la mise en œuvre d'un raisonnement qui a une prétention à une certaine généralité. Seconde remarque : le raisonnement formulé par les élèves ou les scientifiques qu'il soit complet ou incomplet doit être explicite pour une communauté donnée, même si un raisonnement a toujours une part d'implicite, particulièrement à l'oral ce qui sera le cas dans nos études empiriques. Souvent les raisonnements mis en œuvre par les élèves sont incomplets, dans le sens où tous les éléments qui le constituent (les points de départ, les types de raisonnements mobilisés, la conclusion) ne sont pas explicités. Il conviendra alors d'indiquer comment nous pourrions réaliser certaines inférences et, comme nous avons mis en avant une « épistémologie de la découverte », il faudra mettre en relation les inférences réalisées par les élèves avec le processus de problématisation et son contexte problématique. Par exemple, les contraintes peuvent être le résultat d'une problématisation préalable (dans le cadre d'un changement de contexte problématique). Ces articulations nous semblent déterminantes pour attribuer le statut de contrainte ou de nécessité aux propositions des élèves ou des scientifiques.

Enfin, la centration sur le produit de l'activité de la problématisation a conduit à minorer provisoirement le questionnement sur les concepts de problème et d'obstacle et de leur traitement didactique alors que ces questions sont à l'origine du travail sur la problématisation (Fabre, 1993, 1997, 1999 ; Orange 1993 ; Orange & Orange, 1993 ; Fabre & Orange, 1997). Cette minoration provient d'un déplacement du travail de recherche sur ce que veut dire *problématiser* (ou *construire des problèmes*). Ainsi, alors que l'idée de « *construction du problème* » est au cœur des élaborations du CREN, celle de « *formulation du problème* » tend à disparaître. Si bien qu'il est souvent difficile d'identifier précisément le problème dont il est question. Nous pensons qu'en déplaçant notre attention sur le processus de problématisation, nous allons pouvoir identifier plus précisément les problèmes auxquels s'attaquent les élèves et leur évolution au cours du débat. Nous pourrions les comparer avec les problèmes scientifiques sur lesquels les enseignants veulent faire travailler les élèves. De la même façon, même si la question des obstacles dans la problématisation a souvent été réintroduite dans les discussions par la participation de Brigitte Peterfalvi aux séminaires du CREN (2005, 2006), la centration sur le

produit de l'activité de problématisation⁸⁹ a conduit à faire passer cette question en second plan. Nous avons déjà évoqué la question d'un type d'obstacle qui empêche l'engagement dans le processus de problématisation, mais il nous semble qu'il y a d'autres types d'obstacles qui pourront être identifiés si l'on s'intéresse au processus de problématisation. Les obstacles peuvent être différents, aussi bien dans leur nature que dans la façon dont ils se manifestent dans l'activité de problématisation (en empêchant l'identification du problème, par la mise en œuvre de raisonnements non pertinents dans le champ scientifique...).

Ces différents points critiques nous conduisent maintenant à faire des propositions qui devront être mises à l'épreuve de problématisations sur des problèmes biologiques précis. Nous le ferons dans la suite de la recherche.

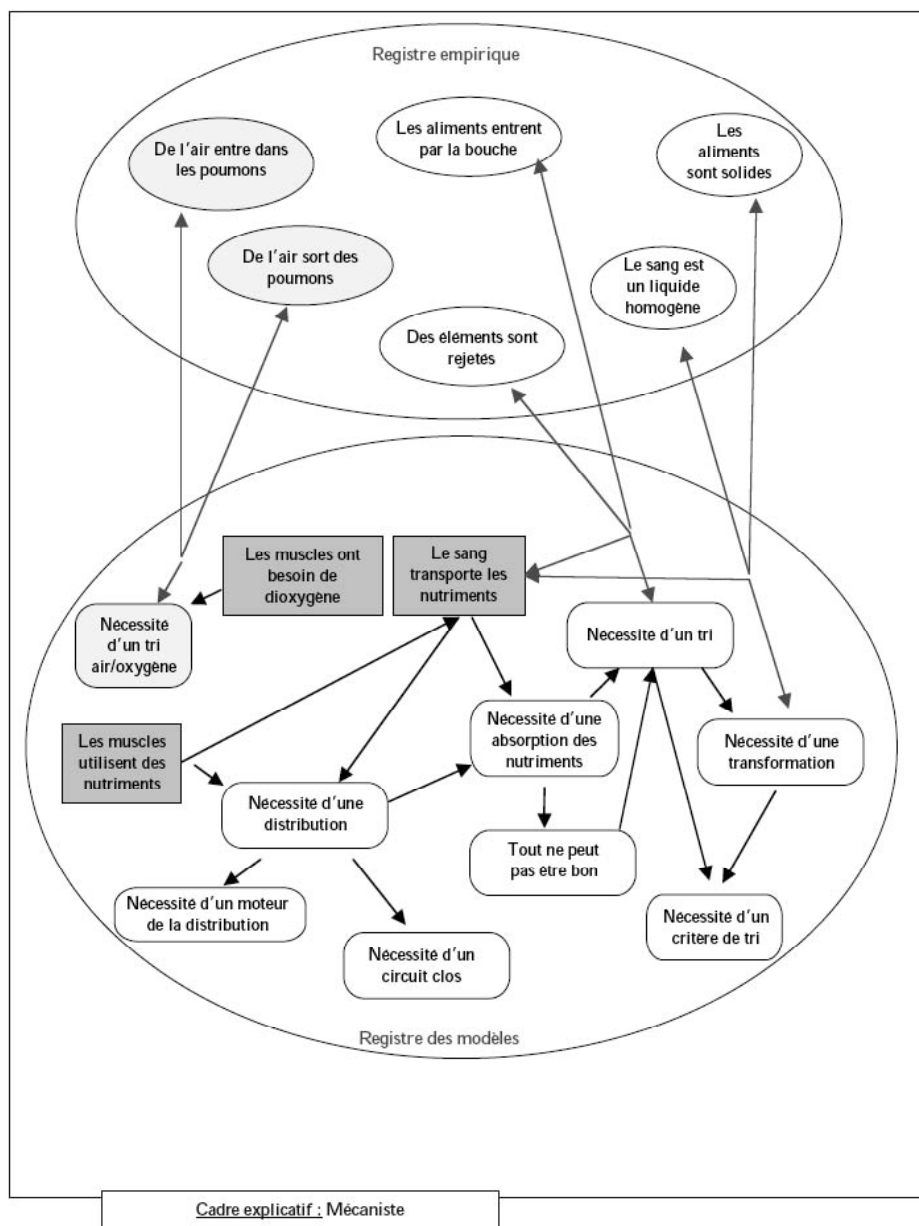
Afin d'avancer par rapport aux différents « points critiques », nous proposons de déplacer notre l'attention du produit de l'activité vers le processus même de problématisation. Afin de mieux rendre compte de ce déplacement de point de vue, nous avons introduit une représentation modifiée des « espaces de contraintes » présentés par Orange que nous désignerons sous le vocable d'« espace contraintes et nécessités »(Lhoste & Peterfalvi, 2007 ; Lhoste & Peterfalvi, 2008).

6.4.3.2. Des « espaces de contraintes » aux « espaces contraintes et nécessités »

Repartons de l'exemple d'un « espace de contraintes » construit dans le cadre de notre travail de DEA (repris dans Lhoste, 2005, p. 159). Il s'agit d'un « espace de contraintes » qui rend compte de la problématisation conduite par des élèves d'une classe de 3^e sur le thème de la nutrition humaine (figure 1-8).

⁸⁹ Peut être suite à la référence à Dewey.

Figure I-8. Espace de contraintes en jeu dans un débat sur la nutrition en 3^e (Lhoste, 2005, p. 159)



Alors que le premier dédoublement, entre registre empirique et registre du modèle, apparaît de façon spatialisée dans ces espaces, le second dédoublement y apparaît d'une façon moins évidente en dépit des indications données par les flèches et la mention « nécessité de » devant certaines des formulations. L'usage de ces espaces fait apparaître régulièrement, non seulement des « nécessités sur les modèles », mais aussi des « contraintes théoriques » (dans les cases qui sont fortement grisées)⁹⁰, éléments théoriques dont le statut épistémologique se distingue

⁹⁰ Cette catégorie « contrainte théorique » est introduite par Orange dès ses premiers travaux, mais sans être systématiquement questionnée.

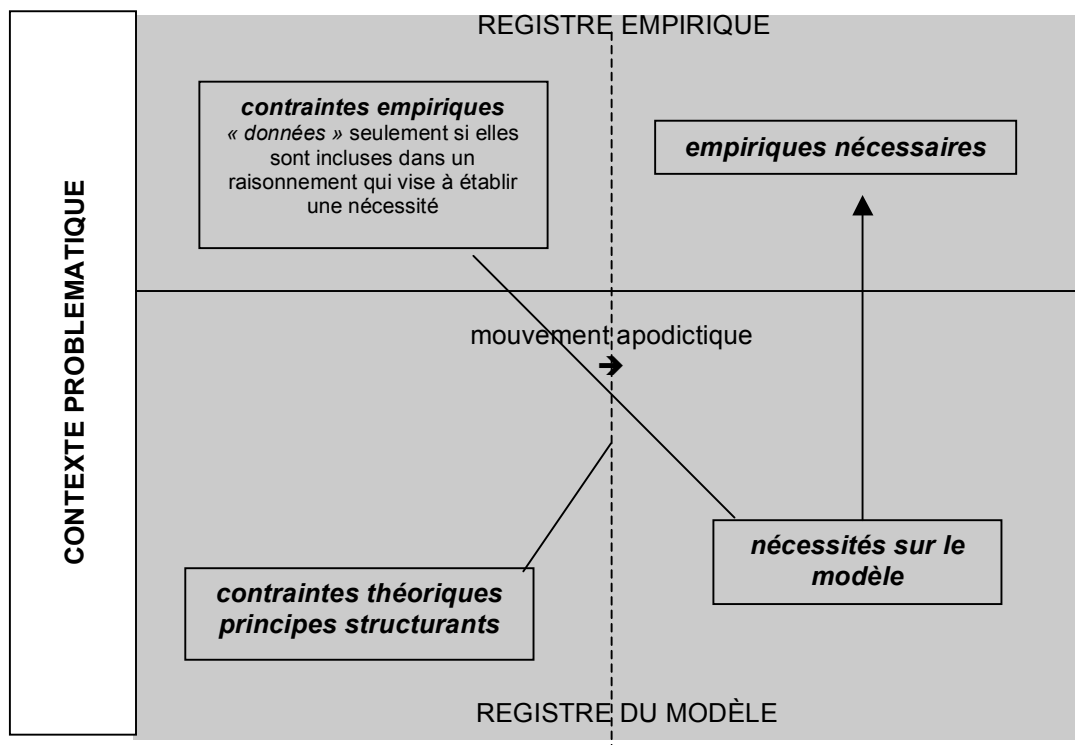
de ces « nécessités ». Il s'agit d'éléments théoriques admis comme tels sans discussion et sur lesquels on s'appuie dans le processus de problématisation. En général, ces « contraintes théoriques » sont partagées par la plupart des élèves de la classe et ne sont pas soumises à discussion (elles sont hors question) pendant le débat, mais elles conditionnent les « nécessités » construites et les « contraintes empiriques » retenues (Lhoste, 2005 ; Beorchia & Lhoste, 2007, p. 45-48)⁹¹. Ces contraintes théoriques sont des *a priori* partagés. Il arrive qu'elles correspondent à des idées qui font obstacle à la construction de connaissances visées. Il est également possible que certaines contraintes théoriques soient à l'origine de l'émergence du problème.

Dans l'espace modifié « contraintes et nécessités », nous conservons la séparation entre registre empirique et registre du modèle, qui rend compte du premier dédoublement, à laquelle nous ajoutons une seconde séparation qui veut traduire le second dédoublement. Il s'agit donc pour chaque registre de distinguer les contraintes dans la partie de gauche et les nécessités dans la partie droite. Cet aspect de l'espace « contraintes et nécessités », présenté à la figure 1-9, met davantage l'accent sur les raisonnements (ou argumentations) auxquels les élèves procèdent dans le processus de problématisation (représentés par des traits). Il permet également de faire figurer les contraintes théoriques mobilisées dans les raisonnements des élèves, les contraintes théoriques plus ou moins implicitement mobilisées qui peuvent correspondre à des obstacles et qui sont, en général, en relation avec le contexte problématique de la problématisation.

Cette représentation conduit à la création d'une nouvelle catégorie : celle de « l'empirique nécessaire » dont il faut discuter la signification.

⁹¹ Ces contraintes théoriques peuvent prendre la forme de principes structurants dans certaines problématisations historiques, comme l'ont montré Orange-Ravachol & Beorchia (2007), avec les deux exemples du principe de l'actualisme en géologie et celui de l'unité de fonctionnement des cellules nerveuses pour la construction du concept d'intégration nerveuse.

Figure I-9. Une présentation modifiée des « espaces de contraintes » : les « espaces contraintes et nécessités »



Ce qui figure dans la case « contraintes », RE (registre empirique) correspond au niveau « registre empirique » des « espaces de contraintes ». Ce qui figure dans la case « nécessités », RM (registre du modèle) correspond à ce qui était représenté sur le niveau « registre des modèles ». Les deux cases supplémentaires permettent de placer des formulations qui n'avaient pas de place précise dans la représentation antérieure :

- les « contraintes théoriques », identifiées dans les travaux d'Orange, n'étaient pas séparées, d'un point de vue topologique, des nécessités sur le modèle ;
- les nécessités empiriques que nous proposons d'introduire.

Nous nous sommes demandé si la case « nécessité empirique » était une case vide. Il s'avère sans doute que non : bien des objets empiriques ont été trouvés, impliqués par des nécessités sur les modèles construites au sein d'un questionnement. Ainsi, du point de vue épistémologique cette case peut avoir une signification⁹², ce sont les « êtres de raison » de Jacob (1995). Prenons l'exemple de la découverte du canal

⁹² « Contrairement à ce que j'avais longtemps cru, la démarche de la science expérimentale ne consiste pas à expliquer l'inconnu par le connu, comme dans certaines démonstrations mathématiques. Elle vise au contraire à rendre compte de ce qu'on observe par les propriétés de ce qu'on imagine. À expliquer le visible par l'invisible. Et c'est par l'évolution de l'invisible, par le recours à de nouvelles structures cachées, aux propriétés hypothétiques qu'évolue la science » (Jacob, 1987/1990, p. 387-388).

potassium, impliqué dans la conduction du message nerveux, présentée par Morange (2005, p. 54-62) et décrite dans le tableau 1-5.

Tableau 1-5. La découverte du canal potassium : un empirique nécessaire ?

En grisé clair ce qui relève du modèle et en grisé fort ce qui relève de l'empirique

Étapes de la découverte du canal potassium	
Publication : 1952 Prix Nobel : 1963	Hodgkin et Huxley montrent que la dépolarisation de la membrane de l'axone caractéristique de l'influx nerveux correspond à un flux intermembranaire d'ions sodium de l'extérieur de la membrane vers le cytoplasme, suivie d'un flux d'ions potassium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Flux déclenché par l'arrivée de l'influx nerveux et interrompu quelques secondes plus tard.
Publication : 1970 prix Nobel : 1992	Suite à la découverte de la structure de la membrane plasmique comme une bicouche lipidique contenant des protéines intermembranaires et de la mise au point de la technique de mesure des courants électriques créés par le passage des ions sodium et potassium, proposition de l'existence, dans la membrane de l'axone, de canaux protéiques distincts pour le sodium et le potassium qui expliquent les flux ioniques responsables de la propagation de l'influx nerveux (modèle)
1984	Les gènes codant pour un canal sodium et potassium sont isolés et séquencés (empirique).
2003	MacKinnon établit la structure d'un canal contrôlé par le voltage et propose un mécanisme précis de la manière dont le voltage transmembranaire provoque l'ouverture du canal (modèle) (apport des informations structurales via diffraction aux rayons X qui a permis de voir les canaux -empirique).

Dans l'exemple présent, l'existence des canaux à sodium et potassium est proposée comme étant nécessaire pour expliquer la propagation de l'influx nerveux avant leur observation par des techniques de diffraction aux rayons X. Dans ce cas, leur existence est envisagée comme nécessaire pour rendre compte de certaines observations et de connaissances théoriques (structure de la membrane plasmique). Ce sont, comme Jacob l'indique pour les gènes, « *des structures imaginaires requises pour rendre compte des faits connus. Personne n'en avait jamais vu. On ne pouvait ni les purifier, ni les mettre en bouteille* » (1995)⁹³. Morange (2005, p. 55), à la suite des historiens des sciences, parle de « *boîte noire* »⁹⁴ pour qualifier ces exemples d'éléments empiriques non-encore découverts dont on rend l'existence nécessaire, dans un cadre théorique donné. Darden⁹⁵ (2002) indique que ce

⁹³ Les êtres de raison (nécessaires) deviennent des « empiriques » seulement quand on parvient à les retrouver d'une façon ou d'une autre dans le réel.

⁹⁴ Les boîtes noires des historiens des sciences sont distinctes des boîtes noires de Latour : dans un cas, on attribue une fonction à une sous-partie du système sans chercher à comprendre si cette sous-partie existe ou non, dans le second cas, c'est un élément bien connu qui est n'est plus remis en question dans une autre enquête concernant un système qui le contient ou avec lequel il interagit.

⁹⁵ « *Engineers know a lot about how to design and construct actual physical mechanisms in artifacts. They need an overall framework, which is like a schema. They may be able to reuse modules that they have used in other mechanisms. As the detailed mechanism is being designed, either forward from the beginning or backward from the end, ideas for what to put in to fit properly and fill gaps may be obvious or at least highly constrained. A prior stage may suggest what to use next or a later stage may suggest what could have produced it. The engineering process of designing a mechanism goes through cycles of construction, evaluation and revision as components are proposed, evaluated, and possibly redesigned. The goal is to construct a*

mécanisme d'ouverture de boîtes noires, préalablement proposées pour rendre compte d'un phénomène biologique et établir une chaîne causale complète, est une stratégie de découverte scientifique classique. Peut-on dire, que le canal à potassium est un empirique nécessaire ? Dans le cadre de nos études de cas, nous devons examiner l'intérêt de cette nouvelle catégorie.

6.4.3.3. Registre explicatif, contexte problématique et cadre épistémique

Enfin, il s'agit de discuter les relations entre le contexte problématique et le registre explicatif proposé par Orange comme troisième registre dans son schéma de la modélisation.

Nous avons défini le contexte problématique comme l'ensemble des ressources disponibles (conceptuelle, sémiotique, langagière...) qui permettent d'entrer dans le processus de problématisation et de l'orienter de différentes façons :

- instanciation d'éléments du contexte problématique dans le raisonnement des élèves sous la forme de *contraintes théoriques* ;
- instanciation via les types de raisonnement mobilisés par les élèves, dans ce qui fonde par exemple les lois de passage dans les raisonnements (voir Orange, 2003a, et la façon dont les élèves construisent la nécessité de tri en mobilisant un raisonnement logiquement acceptable mais construit sur des fondements non scientifiques ; on trouve des exemples de même type dans Peterfalvi, 2001).

Nous avons déjà souligné que ce contexte peut subir des modifications au cours de la problématisation :

- modification au niveau des concepts mobilisés par les élèves par l'explicitation exigée au cours du débat ;
- réorganisation du savoir de l'élève par la construction de nécessités qui peuvent venir s'inscrire dans le réseau de ce que les élèves savent déjà.

Ainsi, il nous semble que cette idée de contexte problématique (en lien avec les changements de contexte liés à l'activité de problématisation) correspond à un registre plus large que celui du « *registre explicatif* » tel qu'il est maintenant utilisé dans les travaux du CREN. Le tableau 1-6 présente les occurrences du concept de

smoothly working mechanism. There is a strong analogy between an engineer designing a mechanism and a scientist discovering one that already works in nature » (Darden, 2002).

registre explicatif dans le mémoire d'habilitation à diriger des recherches de Christian Orange (2000).

Tableau I-6. Le registre explicatif dans le mémoire d'HDR de Christian Orange (2000)

Page 25 :	<p><i>Reprise de la formulation issue du travail de thèse de doctorat (Orange, 1994, 1997) :</i></p> <p>« de considérer que les modèles étaient liés à un troisième registre, dont ils tirent leur valeur heuristique et leur intelligibilité, et qui correspond aux références explicatives spontanées ou habituelles du modélisateur : c'est ce que nous avons appelé le registre explicatif ».</p> <p>^a <i>Canguilhem parle de « termes de référence des comparaisons explicatives » (1955, p. 64) et de principes d'explication (ibid., p. 85).</i></p>
Page 27	<p>« Le registre explicatif, non représenté ici, intervient en permanence pour organiser cette mise en tension ».</p>
Page 36	<p>À propos de la problématisation du milieu intérieur par Cl. Bernard sur le milieu intérieur) :</p> <p>« Le registre explicatif rapidement caractérisé (« vitalisme physique »^b déterministe) veut marquer qu'aussi bien la tension de départ que les autres relations n'ont de signification que dans une certaine idée de l'explication biologique ».</p> <p>^b <i>L'expression « vitalisme physique » est de Bernard (Canguilhem, 1983, p. 160). Les références explicatives de Bernard ne sont pas simples à définir rapidement : il cherche à concilier animisme et matérialisme (Carnet Rouge, p. 99) et s'il veut éviter aux phénomènes biologiques un réductionnisme matérialiste (Canguilhem, 1983, p. 158), il note : « il faut poser le problème physiologiquement, mais ensuite, le principe posé, tout acte vital doit se réduire mécaniquement » (carnet rouge, p. 168-169).</i></p>
Page 72	<p>À propos d'une problématisation sur la nutrition par des élèves de CE1-CE2 :</p> <p>« L'indication sur le schéma du REX mécaniste n'est là que pour rappeler que la construction de ces nécessités n'est envisageable que si un minimum de règles d'explication sont communes à la classe : par exemple l'idée que, pour que la nourriture permette la croissance de toutes les parties du corps, il est nécessaire qu'une partie de cette nourriture vienne au "contact" de ces parties et qu'elle ne peut pas agir à distance. Le cas d'une élève de la classe (Manuela), qui a quelques difficultés à se situer dans le débat peut être interprétée comme un maque d'adhésion à ce REX mécaniste (voir Orange, 1999). L'intervention du REX "mécaniste" est également claire dans la contrainte sur le modèle portant sur la nécessité d'un "moteur" à la distribution : mes élèves considèrent que le mouvement de la nourriture ne peut se faire naturellement que par gravité, donc de haut en bas ».</p>
Page. 75	<p>À propos d'une problématisation sur le mouvement du bras par des élèves de CP-CE1</p> <p>« Ici encore, le REX mécaniste intervient, mais de manière plus « palpable » que dans le débat sur la nutrition humaine. Sa pertinence est telle que ce problème a donné lieu, dans une séance ultérieure, à la construction de maquettes. »</p>
Page 81	<p>À propos d'une problématisation sur le volcanisme par des élèves de CM1-CM2</p> <p>« À partir du point b), le fait non identifié passe du statut de simple contrainte à celui de problème empirique : un certain besoin d'explication apparaît, généralement par mise en tension, explicite ou non, avec un autre élément du cadre problématique. Ainsi, les cas b) et c) peuvent correspondre à une tension implicite avec des intelligibles fondamentaux (faisant partie du REX) : la chaleur non spontanée, par exemple, elle doit être expliquée.</p>

Il nous semble qu'il y a un glissement entre les premières formulations du registre explicatif et la façon dont il est mobilisé actuellement, où il doit rendre compte de ce qui, dans une formulation ou un ensemble de formulation, a à voir avec la construction des nécessités. Il est ainsi devenu une caractérisation du mode d'explication (mécanisme, vitalisme...). Ce concept nous semble nécessaire, mais comme il est centré sur le produit de l'activité de problématisation, il est relativement statique. Ainsi il ne permet pas de concevoir une évolution et de rendre compte des modifications consubstantielles au processus de problématisation au cours du débat.

De plus, comme les registres explicatifs sont généralement incommensurables entre eux, cela rend l'utilisation de ce concept difficile pour penser les apprentissages.

Ainsi, comme nous voulons déplacer l'observation vers le processus de problématisation, il nous faut un concept pour qualifier ce contexte problématique. Ce nouveau concept, même s'il n'écrase pas celui de registre explicatif, devrait permettre d'envisager d'autres questions, et notamment celle des apprentissages. Nous pouvons examiner l'intérêt du concept de « *matrice cognitive* » introduit par Martinand, dans son schéma de la modélisation, comme une réponse au registre explicatif d'Orange car, précise-t-il, « *cela dépasse d'ailleurs la question du pouvoir explicatif, et, personnellement, j'ai envie de parler de matrice cognitive* » (2000, p. 129). L'idée de matrice nous semble intéressante car elle permet de penser aussi les ressources potentiellement mobilisables par les élèves (les élèves savent intuitivement, quand ils s'adressent les uns aux autres, ce que les autres sont susceptibles de comprendre) et pas nécessairement déjà mobilisées dans la formulation présente. Emprunter le concept de matrice pourrait permettre de prendre en compte les concepts avec lesquels les élèves pensent. De plus, cela permet de concevoir une évolution (l'apprentissage) et l'intégration de nouveaux concepts à la faveur du processus de problématisation. Cependant le terme *cognitif* pose problème, car l'instance que nous cherchons à caractériser doit prendre en compte, d'une part les processus intellectuels en tant qu'ils sont indépendants du sujet qui pense et, d'autre part, des contenus spécifiques. Dans ce sens, le contexte problématique est plus épistémique que cognitif, le terme cognitif renvoyant trop au sujet alors que le savoir dépasse le sujet, même si, ce qui nous intéresse, ce sont les conditions d'appropriation d'un savoir donné par des élèves dans des situations d'enseignement-apprentissage.

Pour sortir de cette difficulté, nous sommes retourné au concept de « *cadre épistémique* » de Piaget et Garcia (1983, p. 275). Ce concept nous semble intéressant puisqu'il cherche à rendre compte la façon dont les règles de raisonnement de la communauté, dans laquelle s'insère un sujet, peuvent influencer « *sur le développement cognitif d'un individu* » (Piaget & Garcia, 1983, p. 279). L'intérêt de ce concept est qu'il conserve un fort ancrage épistémologique en tentant de rendre compte des potentialités constructives chez le sujet. Le cadre épistémique permet de caractériser l'ensemble des ressources potentiellement mobilisables par les élèves et leur fonction par rapport au processus de problématisation. De plus, l'enrichissement du cadre épistémique à différents niveaux d'enseignement (et ce qu'il comporte d'obstacles et de concepts qui sont des conditions de possibilité de formulation et construction du problème) peut être une piste de travail pour explorer le concept de problématisation d'un point de vue curriculaire (Lhoste & Peterfalvi, 2008). Ainsi, comme l'activité

de problématisation, il met au cœur de ce qu'il cherche à décrire une tension entre un sujet et un savoir. C'est ce terme que nous utiliserons pour qualifier le contexte problématique.

7. Conclusions et première formulation de la question de recherche

Au terme de ce premier chapitre, nous avons fait un point épistémologique sur ce que nous pouvons entendre par explication et des liens établis avec le concept de problématisation tel qu'il est développé dans notre laboratoire. Pour qu'un lien entre explication et problématisation soit possible et pertinent, il a fallu :

- distinguer, au niveau épistémologique, deux niveaux dans l'explication : celui de la découverte et celui de la justification ;
- accorder une place centrale au niveau de la découverte qui permet l'accroissement du savoir ;
- montrer que le processus de la découverte est régi par une dimension logique et ne relève pas simplement d'un niveau psychologique. Cette logique n'est pas seulement une logique formelle. Mais elle mobilise, en plus, une logique liée à un contexte problématique, une logique du sens qui oriente le processus de la découverte.

C'est à partir de ces considérations épistémologiques que nous avons réinterprété certaines critiques faites aux savoirs scolaires et aux conceptions épistémiques des enseignants de SVT. À partir de ces critiques, nous avons montré en quoi l'activité de problématisation et notamment la dimension de construction des problèmes devait être réévaluée dans les situations d'apprentissage.

Enfin, nous avons distingué deux façons complémentaires de rendre compte de l'activité de problématisation, comme processus ou comme produit. Cette distinction nous a conduit à proposer des « espaces contraintes et nécessités » différents de ceux utilisés habituellement, afin de mettre sous observation, plus spécifiquement, le processus de problématisation.

Au terme de ce premier paragraphe, nous pouvons proposer une première formulation de nos questions de recherche. Il s'agit, pour reprendre une catégorisation d'Astolfi qui définit trois paradigmes de recherche en didactique (1993), d'une recherche de signification⁹⁶, qui cherche à comprendre comment et à quelles conditions les élèves, au cours de débats scientifiques, construisent des explications scientifiques qui permettent l'accès à des savoirs problématisés. Pour

⁹⁶ Astolfi (1993) distingue trois paradigmes de recherche en didactique : recherche de faisabilité, de signification et de régularité.

comprendre l'activité de problématisation des élèves en lien avec la production d'explications scientifiques, nous ferons appel des analyses mobilisant les « espaces contraintes et nécessités » pour mieux rendre compte du processus de problématisation. Nous essaierons de montrer en quoi ces analyses permettent de comprendre, d'une part, à partir de quels savoirs les élèves construisent des savoirs scientifiques et, d'autre part, comment ils les construisent. Cela devrait également nous permettre de réinterroger les liens entre problématisation, problème et obstacle. C'est à partir de ces résultats que nous pensons pouvoir mieux comprendre les liens entre problématisation et conceptualisation scientifique dans des situations scolaires comme les débats scientifiques.

Comme nous souhaitons mettre au cœur de nos analyses le processus de problématisation, les traces sur lesquelles nous allons nous appuyer sont essentiellement des traces langagières (oral, écrit avec différents systèmes sémiotiques) et c'est à travers ce que disent les élèves, ce qu'ils écrivent que nous analyserons le processus de problématisation. Il convient alors de nous interroger sur les liens entre activité langagière et problématisation, en particulier dans la production d'explications en sciences de la vie.

Chapitre 2.

PROBLÉMATISATION EN SCIENCES ET ACTIVITÉ LANGAGIÈRE

Chapitre 2. PROBLÉMATISATION EN SCIENCES ET ACTIVITÉ LANGAGIÈRE	87
Introduction	88
1. Explication et mise en texte du savoir : le langage au laboratoire	92
1.1. Place et fonction de l'activité langagière dans l'activité scientifique	92
1.2. Communication informelle et recherche d'explication	97
1.3. Communication formelle et justification de l'explication : la mise en texte du savoir	99
1.4. Conclusion	102
2. Quelle conception du langage pour rendre compte du versant langagier de l'activité scientifique ?	104
2.1. Les pratiques langagières de la communauté scientifique sont constitutives des savoirs scientifiques	105
2.2. Une conception dialogique du langage	107
2.3. Les pratiques langagières s'inscrivent dans des genres de discours différents	111
2.4. Conclusion	113
3. Conséquence : langage et apprentissages scientifiques	121
3.1. Langage et activités scientifiques dans une séquence de classe ordinaire	122
3.2. Langage et apprentissages scientifiques à la lumière de la théorie vygotskienne des apprentissages scolaires	125
3.3. Conclusion : la question de la transposition didactique	136
4. Des outils langagiers pour analyser le processus de problématisation	141
4.1. Des outils pour analyser le travail langagier de construction d'une explication au cours des débats scientifiques en classe	142
4.2. Des outils pour analyser l'articulation des argumentations produites par les élèves et la construction des raisons	143
4.3. Des outils pour analyser les arguments produits par les élèves	144
5. Conclusion et nouvelle formulation des questions de recherche	146

Introduction

Jusqu'à présent, alors que nous cherchons à comprendre comment et à quelles conditions les élèves, au cours de débats scientifiques, construisent des explications en sciences de la vie, à travers le processus de problématisation, nous nous sommes principalement intéressé à la dimension épistémologique de l'activité scientifique, en particulier dans le cadre de la production d'explications. Comme chaque champ de savoir, chaque nouvelle forme de rationalité ne peut être dissociée de l'existence d'une communauté de spécialistes¹ qui assure la production de ce savoir et son contrôle, il convient de nous interroger sur le contexte social dans lequel se développe l'activité scientifique et en particulier sur ce qui spécifie cette communauté scientifique.

Fleck (1935), comme nous l'avons indiqué dans le premier chapitre (section 3.1.), est l'un des premiers à appliquer la sociologie à la science qu'il considère comme une activité intellectuelle comme les autres.

Bachelard fait également référence à la dimension sociale des savoirs scientifiques lorsqu'il expose, sans la développer, l'idée d'une « *cité scientifique* » « *établie en marge de la cité sociale, (...) [qui] doit lutter contre une psychologie pour créer son non-psychologisme* » (1949/1998, p. 23). Il accorde une place importante au « *contrôle social* » comme fondement de l'objectivité scientifique : « *nous proposons de fonder l'objectivité sur le comportement d'autrui* » (1938/1993, p. 241) et ajoute plus loin que « *la précision discursive et sociale fait éclater les insuffisances intuitives et personnelles* » (*ibid.*, p. 242). Ainsi, suivant toujours Bachelard, « *pour mettre un savoir au clair, il faut le désensacher, il faut l'étaler, il faut le partager avec autrui, il faut le discuter sur le plan de la représentation relationnelle à deux dimensions* » (1949/1998, p. 61).

Kuhn (1983) met également en avant le rôle important de la communauté scientifique dans l'activité scientifique et modifie de ce fait « *la représentation qu'on se fait de la science, en articulant les aspects cognitifs et sociaux de la recherche* » (Matalon, 1996, p. 66-67). Le rôle de la communauté scientifique, selon Kuhn (1983), est d'assurer la garantie du paradigme dans lequel la recherche scientifique

¹ « *Philosophes, géomètres, médecins, géographes; leurs activités se développent à l'intérieur de la sphère publique. Les groupes qui se constituent forment un milieu de savoir, des écoles avec des orientations, des disciples autour d'un maître parfois mais toujours ouverts à l'échange des informations, des écrits ou des théories des autres, s'entraînant à l'argumentation, aux procès de démonstration, pratiquant la critique, celle qui permet un savoir cumulatif, la vérification des connaissances* » (Détienne, 1992).

se développe, la résistance du paradigme « *garantit que les scientifiques ne seront pas dérangés sans raison* » (*ibid.*, p. 99). Si trop d'anomalies apparaissent à l'intérieur d'un paradigme, la crise devient inéluctable et conduit à une révolution scientifique. Il décrit comment la conversion des scientifiques au nouveau paradigme peut se faire : comme les paradigmes sont incommensurables, ce n'est pas avec des preuves (*ibid.*, p. 204 et 299) que l'on peut emporter l'adhésion de la communauté scientifique². La preuve logique n'étant pas efficace pour convertir les scientifiques au nouveau paradigme, il s'agira de les convaincre. Kuhn indique enfin que « *l'existence même de la science dépend du fait que le pouvoir de choisir entre les paradigmes est remis aux membres d'une communauté spéciale* » (*ibid.*, p. 229). Il ne faudrait pas croire pour autant que la science est uniquement un fait social, mais plutôt, pour suivre Bachelard (1971), que l'objectivation du savoir scientifique a une double dimension naturelle et sociale et que l'on ne peut le limiter à l'une ou l'autre de ses dimensions³. Ainsi Pestre précise que « *les savoirs scientifiques sont produits toujours par des humains [...]. La question de connaître dans quelle proportion les savoirs scientifiques sont déterminés par "la nature" d'une part, par "l'humain qui en donne une représentation" de l'autre [...] est souvent tenue [...] pour indécidable en généralité* » (1998, p. 103).

Pour comprendre ce qui rend possible le développement du savoir scientifique, il convient de noter, à la suite de Goody, que c'est le passage de sociétés de tradition orale à des sociétés de tradition écrite qui permet l'apparition et le développement des pratiques scientifiques (Goody & Watt, 1963 ; Goody, 1979)⁴. En effet, l'apparition de l'écriture permet, d'une part une conservation, leur accumulation, leur comparaison, le développement du retour critique sur ces savoirs et, d'autre part, leur transformation : « *les changements du mode de communication (ont un rôle) dans le changement des structures et des processus cognitifs, dans l'accroissement du savoir*

² Sur ce thème, les positions de Kuhn et de Popper diffèrent. Popper (le Popper de la *Logique de la découverte scientifique* et de *Conjecture et réfutation*) développe une conception falsificationniste où une expérience, observation peut uniquement invalider une théorie. Pour Kuhn, falsification et vérification ne sont que les deux faces d'une même pièce.

³ « *Devant le réel le plus complexe, si nous étions livrés à nous-même, c'est du côté du pittoresque, du pouvoir évocateur que nous chercherions la connaissance : le monde serait notre représentation. Par contre si nous étions livrés tout entier à la société, c'est du côté du général, de l'utile, du convenu, que nous chercherions la connaissance : le monde serait notre convention* » (Bachelard, 1971, p. 15).

⁴ Goody rappelle que l'écriture n'est pas la seule cause de l'apparition des activités scientifiques : « *la structure sociale qui est à l'arrière plan des actes de communication est souvent de première importance. Néanmoins, ce n'est pas par hasard si les étapes décisives du développement de ce que nous appelons maintenant "science" ont à chaque fois suivi l'introduction d'un changement capital dans la technique des communications : l'écriture en Babylonie, l'alphabet en Grèce ancienne, l'imprimerie en Europe occidentale* » (1979/2007, p. 107).

et des capacités qu'ont les hommes à le stocker et à l'enrichir » (Goody, 1979/2007, p. 86). Le tableau 2-1 dresse un comparatif des sociétés de tradition orale et de tradition écrite.

Tableau 2-1. Le savoir dans les sociétés de tradition orale et de tradition écrite et la possibilité de l'apparition des activités scientifiques (d'après Goody, 1979)

	Société de tradition orale	Société de tradition écrite
Savoirs	Les savoirs sont immanents aux situations et aux individus qui les mettent en œuvre.	L'écrit permet une mise à distance, hors de soi, des savoirs qui sont ainsi mis en suspens du rapport pratique au monde.
Conséquences	Les savoirs sont faiblement mis à distance. L'esprit critique est limité : « <i>dans un discours de forme orale il est plus facile de se duper ainsi soi-même et moins facile d'en prendre conscience</i> » (Goody, 1978, p. 106).	Les savoirs ainsi mis à distance peuvent être questionnés, réélaborés (Goody parle de « <i>rumination constructive</i> » [1978, p. 97]) ce qui ouvre la possibilité d'un rapport théorique à ces savoirs qui pourront être étudiés pour eux-mêmes. Ces nouveaux objets peuvent donner naissance à de nouvelles activités, comme les activités scientifiques, et par conséquent à de nouvelles communautés, comme la communauté scientifique.

Cela montre que les relations entre les pratiques d'écriture, la constitution et le développement des savoirs scientifiques n'ont rien de contingent, mais que ces liens sont consubstantiels. Comme, de plus, « *une soi-disant tradition orale qui complète une tradition écrite ne peut être assimilée à la tradition orale d'une société sans écriture* » (Goody, 2007, p. 47), il ne s'agit pas, pour nous, de considérer le champ de l'écrit en domaine autonome, mais bien de le placer dans une relation étroite avec l'oral⁵. Donc, nous nous intéresserons, dans ce chapitre, à essayer de comprendre les relations entre activité langagière (orale et écrite) et activité scientifique.

Ainsi, à partir d'une analyse du rôle du langage dans l'activité scientifiques que nous mènerons à la section 1 de ce chapitre, nous présenterons à la section 2 à quelle

⁵ Dabène (1987) a montré que, dans les sociétés actuelles, même si l'écrit domine, il dépend aussi de l'oral : « *Que ce soit sur le plan codique ou sur celui de l'organisation discursive, l'on observe de plus en plus d'oral dans l'écrit et d'écrit dans l'oral* » (Bernié, 1998, p. 169).

conception du langage nous pourrons nous référer pour rendre compte des relations entre activité langagière et activité scientifique. Ce sera également l'occasion de montrer dans quelle mesure cette conception du langage est compatible avec notre cadre épistémologique de référence. Ce travail sera poursuivi à la section 3 où nous aborderons la question du rôle du langage dans les apprentissages scientifiques, ce qui nous conduira à discuter des champs de recouvrement entre apprentissage par problématisation et les perspectives vygostkiennes. Enfin, avant de reformuler nos questions de recherche en fonction de ces différents apports, nous essaierons de présenter les différents outils langagiers qui pourront servir à comprendre le processus de problématisation en œuvre lors de débats scientifiques sur des thèmes relevant des sciences de la vie.

I. Explication et mise en texte du savoir : le langage au laboratoire

Dans un premier temps, nous essaierons de déterminer le degré de formalisme et la fonction des productions langagières qui accompagnent le travail des scientifiques. Puis, nous essaierons, dans le cadre épistémologique présenté au chapitre 1, de montrer que les activités langagières ont des caractéristiques particulières selon que l'on se place au moment de la recherche ou au moment de la justification.

I.1. Place et fonction de l'activité langagière dans l'activité scientifique

Lévy-Leblond indique que « *la science est activité parlante, puisque humaine* » (1996, p. 252) et interroge ce que la science fait de la langue. Il convient de nous interroger sur les différentes fonctions du langage dans l'activité scientifique professionnelle. Lévy-Leblond propose une catégorisation présentée dans le tableau 2-2, complétée par une autre distinction caractéristique de toute production langagière dans une communauté discursive (Jaubert, 2000, p. 45) : des textes/discours à usage interne et des textes/discours destinés à l'extérieur.

Tableau 2-2. Différentes fonctions du langage dans l'activité scientifique (d'après Lévy-Leblond, 1996, p. 235)

	<i>Production langagière à usage interne</i>	<i>Production langagière destinée à l'extérieur</i>	
	Communication informelle	Communication institutionnelle	Communication publique
Communication écrite	Cahiers de laboratoire, courrier (et Internet)...	Articles spécialisés (publications primaires)	Vulgarisation (livres, presse)
Communication orale	Discussions de travail, échanges (téléphone)	Colloques, séminaires, conférence de presse	Enseignement, médias (radio, télé)

Les écrits à usage interne relèvent de ce que Chabanne et Bucheton (2002) nomment des écrits de travail⁶ et il faut remarquer que malgré ces distinctions entre des productions langagières à usage interne et d'autres destinées à l'extérieur, celles-ci ne sont pas complètement dissociables (Jaubert, 2000, p. 45). En effet, ce sont les écrits à usage interne qui finissent par donner naissance à la communication institutionnelle et publique qui réciproquement rétroagit sur ces écrits. Ainsi, il y a un double bouclage en retour. Un bouclage direct, les productions destinées à l'extérieur vont venir orienter les recherches futures et donc influencer les écrits à usage interne. Il y a également un bouclage à plus long terme qui « *enracine la communication informelle dans la communication publique : c'est bien hors du laboratoire, dans l'enseignement et la vulgarisation, que se forment d'abord les connaissances et les compétences des chercheurs, et donc leurs modes de discours et d'échange* » (Lévy-Leblond, 1996, p. 237).

Du point de vue de la communication écrite, les travaux de Yore et *al.* (2006), menés à partir d'entretiens avec des scientifiques des États-Unis et du Canada, ont permis de catégoriser les principaux types d'écrits produits par ces scientifiques au cours de leur activité professionnelle. Nous reprenons ces résultats en les organisant en fonction des catégories décrites dans le tableau 2-2. Ces résultats sont présentés dans le tableau 2-3.

⁶ Dans le champ de la didactique des SVT, Vérin parle d'écrits instrumentaux (1988, p. 20).

Figure 2-3. Fréquence de la production par des chercheurs des différents types d'écrits

D'après trente-six entretiens conduits auprès de scientifiques et d'ingénieurs américains et canadiens (d'après Yore et *al.*, 2006, p. 114)

	Fonction de l'écrit	Type d'écrit	Jamais	Usage rare	Usage occasionnel	Usage fréquent	Usage quotidien
Production langagière à usage interne	Communication informelle	Notes de lecture	17,2 %	5,7 %	14,3 %	51,4 %	11,4 %
		Notes de laboratoires	20,6 %	23,5 %	23,5 %	14,7 %	17,1 %
		Notes personnelles pour la recherche	22,6 %	15,1 %	20,8 %	11,3 %	30,2 %
Production langagière destinée à l'extérieur	Communication institutionnelle	Articles (recherche propre ou revue de synthèse)	37,3 %	33,0 %	13,2 %	9,9 %	6,6 %
		Rapport de recherche	40,0 %	40,0 %	17,1 %	2,9 %	0,0 %
		Rapport d'expertise pour revues	20,4 %	55,5 %	20,4 %	3,7 %	0,0 %
		Poster	17,2 %	71,4 %	5,7 %	5,7 %	0,0 %
		Résumés	11,4 %	48,6 %	31,4 %	5,7 %	2,9 %
		Séminaires, communications	2,9 %	45,7 %	42,8 %	8,6 %	0,0 %
	Communication publique	Lettres à des éditeurs	82,4 %	17,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
		Essais, articles courts (pour publications scientifiques ou non)	54,3 %	37,1 %	8,6 %	0,0 %	0,0 %
		Éditorial	71,4 %	22,9 %	5,7 %	0,0 %	0,0 %

Plusieurs remarques à propos de ces résultats.

Le travail d'écriture est une composante essentielle de l'activité scientifique dont il constitue un des volets, comme le précisent deux scientifiques suivis dans le travail de Yore et *al.*⁷ (2006, p. 138).

De plus, il convient de ne pas limiter « *le rôle de la langue dans la science [...] à la communication de résultats* » (Lévy-Leblond, 1996, p. 229), puisque les écrits les plus régulièrement produits par les scientifiques sont des écrits à usage interne qui constituent la partie essentielle du travail du chercheur, la production d'écrits destinés à l'extérieur du laboratoire est la petite partie émergée de l'iceberg du travail scientifique.

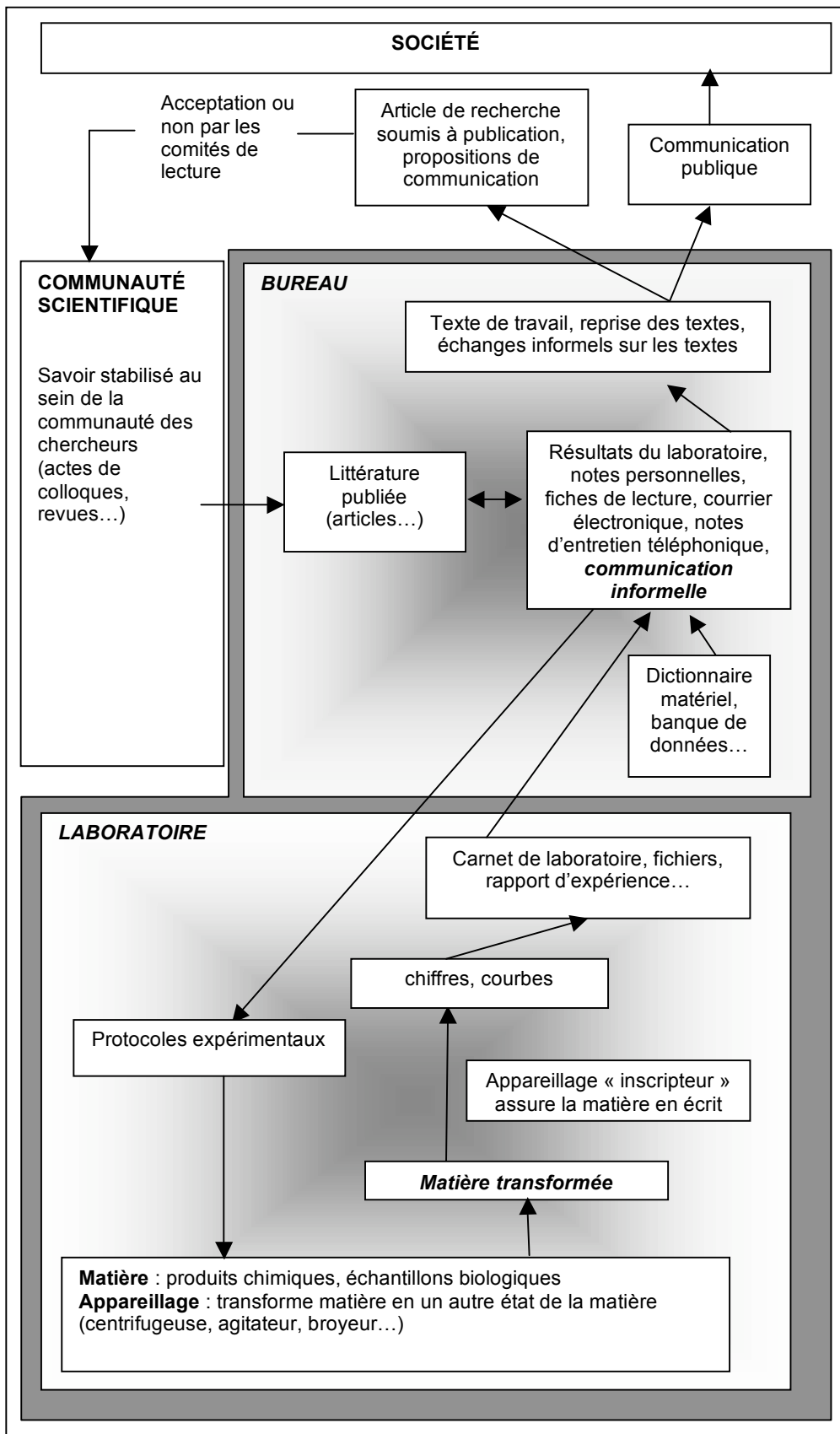
Une troisième remarque concerne la diversité des genres de textes produits par les scientifiques. Ils ont des fonctions différentes et sont régis par des conventions spécifiques d'autant plus contraignantes que les écrits sont publics (communication institutionnelle et publique).

⁷ "Both scientists viewed science writing as an integral part of science and they did not difference between writing science and doing science. The writing process extends the inquiry and interpretation process since it focuses attention and reflection on the quality of evidence" (Yore et *al.*, 2006, p. 138).

Ces remarques peuvent, selon nous, être transposées aux productions langagières orales. Ainsi, on pourrait dire à la suite de Latour et Wooglar que les scientifiques constituent « *une étrange tribu qui passe le plus clair de son temps à coder, marquer, lire et écrire* » (1988, p. 40). À la suite de ces travaux, Rey indique que « *ce que la pratique scientifique a de spécifique, c'est précisément qu'elle produit du discours* » (2002, p. 51), ainsi « *les savoirs scientifiques s'offrent comme des textes* » (*ibid.*). Par là, nous ne voulons pas dire que la science n'est qu'un ensemble de textes⁸, mais que les pratiques scientifiques ont une dimension langagière que l'on ne peut minorer, notamment lorsqu'il sera question de les transposer à la classe. La figure 2-1 présente une modélisation de cette production de texte par l'activité scientifique. Ce schéma reprend certains éléments présentés par Latour et Wooglar (1988, p. 33-89).

⁸ Comme l'a déjà remarqué Hottois (2004).

Figure 2-1. L'activité scientifique comme production de texte (d'après Latour & Woolgar, 1988, p. 33-89)



Même si communication informelle et communication destinée à l'extérieur portent sur l'objet de la recherche (Latour et Woolgar précisent que même les échanges les plus informels portent sur la recherche en cours [*ibid.*, p. 45]), en revanche, les objets de discours qui s'y construisent ne sont pas identiques, puisque chaque forme langagière construit un contenu propre. C'est ce que nous allons essayer de décrire maintenant.

1.2. Communication informelle et recherche d'explication

Il ne s'agit pas pour nous d'affirmer que toute communication informelle correspond à des moments de recherche d'explication, mais il convient de souligner le rôle joué par certains écrits et oraux informels dans les moments heuristiques. Ainsi, les écrits de travail que l'on peut retrouver dans les carnets de laboratoire, comme le *Carnet rouge* de Claude Bernard (1965), ne relèvent pas d'un genre canonique et jouent un rôle déterminant dans la recherche d'explication.

Il y a également tous les échanges informels étudiés par Latour et Wooglar (1988). Ils montrent une certaine diversité des échanges informels dont rend compte la typologie présentée dans le tableau 2-4.

Tableau 2-4. Typologie des conversations informelles proposée par Latour et Wooglar (1988, p. 158-167)

Type	Description du type d'échanges oraux informels entre chercheurs au laboratoire
Type 1	Échanges qui aident à retrouver des méthodologies, à rechercher des données de la bibliographie et des idées liées aux préoccupations du moment.
Type 2	Évaluation de la faisabilité de tel ou tel protocole expérimental
Type 3	Échanges qui portent sur des questions théoriques, controverses...
Type 4	Évaluation du crédit accordé à tel ou tel confrère et par conséquent sur les énoncés qu'il produit

Le type d'échanges auquel nous allons principalement nous intéresser dans cette section sont les échanges informels de type 3 car ceux-ci nous semblent caractéristiques du processus heuristique qui permet la recherche de nouvelles explications, même si les autres types d'échanges viennent interagir avec les échanges de type 3, ce dont rend compte Lévy-Leblond lorsqu'il affirme que « *c'est dans la langue orale que chemine et émerge la connaissance : du visible au lisible, via le dicible* » (*ibid.*, p. 253). Ainsi, même si les productions langagières orales sont moins contrôlées que les écrits, « *l'expression parlée donne à la pensée la spontanéité nécessaire à l'invention* » (*ibid.*, p. 255). Cela conduit Lévy-Leblond à conclure que « *la science se fait comme elle se parle. À s'énoncer, donc à se penser, dans une langue autre que la langue ambiante, elle perdrait son enracinement dans le terreau culturel commun et serait ipso facto privée d'une source essentielle, même si elle est souvent invisible, de sa dynamique. Les mots ne sont pas de neutres habits pour les idées ; c'est souvent par leur jeu libre et inattendu que se fait l'émergence des idées neuves* » (*ibid.*, p. 259-260). Cette longue citation qui insiste sur le marquage social du signe, développe une certaine conception du langage que nous devons expliciter dans la deuxième section de ce chapitre.

Nous voyons bien que les échanges oraux informels au laboratoire, et principalement les énoncés de type 3, sont en lien avec le processus de la découverte. Les travaux de Latour et Wooglar font écho aux propositions que nous avons faites à la suite de Meyer concernant, d'une part, la logique du moment de la recherche et, d'autre part, les modes de raisonnement qui s'y développent. Pour ce qui concerne la logique du moment de la recherche, les deux auteurs décrivent « *la contradiction essentielle contenue dans les procédures utilisées par les scientifiques : si elles sont logiques, elles sont stériles ; si elles sont fructueuses logiquement incorrectes* » (1988, p. 177). Ils sont en accord avec Meyer pour dire que la logique formelle ne peut pas rendre compte, à elle seule, du processus de découverte. Meyer va plus loin, puisqu'il affirme (chapitre 1, section 4.2.) que ce processus relève, en plus de la logique formelle, d'une logique particulière, *context-dependant*. Le développement de cette idée, conduit Meyer à identifier des modes de raisonnements spécifiques à cette logique *context-dependant* comme le raisonnement analogique, ce qui va dans le sens des observations de Latour et Wooglar qui ont observé au laboratoire « *le rôle prépondérant qu'y jouent les raisonnements de type analogique* » (*ibid.*, p. 175)⁹.

Quand une explication a été trouvée, il reste à la faire connaître, à la faire accepter au reste de la communauté scientifique et pour cela il faut convaincre. Cela se traduit

⁹ Les scientifiques interviewés par Yore et *al.* ne reconnaissent pas un rôle important à l'analogie et aux métaphores dans le processus de l'enquête, mais seulement pour la communication de la science (2006, p. 138).

selon Latour et Woolgar par une double transformation décrite comme suit : « *d'une part, la démarche analogique cède souvent la place à un lien logique. D'autre part, la série complexe de contingences locales qui ont permis d'établir momentanément un lien faible, est remplacée par des éclairs d'intuition* » (*ibid.*, p. 177). Nous allons maintenant décrire le processus qui conduit à la mise en texte de l'explication communiquée à l'extérieur.

1.3. Communication formelle et justification de l'explication : la mise en texte du savoir

Nous allons reprendre plus précisément le processus qui conduit à la production d'un texte destiné à une communication vers l'extérieur suivant l'enquête ethnologique conduite par Latour et Woolgar dans le laboratoire de Roger Guillemin au Salk Institut de San Diego. Au cours de leur enquête l'équipe de Guillemin découvre le TRH, neurohormone qui joue un rôle, avec le GnRH, dans la libération de FSH et de LH, découverte qui vaudra le *prix Nobel* en 1977 à Guillemin.

Tout d'abord, notons que l'appareillage du laboratoire, et en particulier les inscripteurs, est le produit de recherches précédentes (menées ou non dans le laboratoire qui les utilise) et intègre une part importante de théorie. Ainsi, les inscriptions produites font partie d'une phénoménologie étendue décrite par Bachelard sous le terme de phénoménotechnique : « *dans la science moderne les instruments ne sont pas des auxiliaires, ils sont les nouveaux organes que l'intelligence se donne pour mettre hors circuit scientifique les organes des sens, en tant que récepteur. Un instrument, dit Bachelard, c'est un théorème réifié¹⁰, une théorie matérialisée¹¹* » (Canguilhem, 1968/1989, p. 191). C'est pour cette raison que Latour et Woolgar parlent de construction sociale des faits scientifiques, même s'ils indiquent ne pas être relativistes : « *loin de nous l'idée que les faits – ou la réalité – n'existent pas. [...] Nous affirmons seulement que cette "extériorité" est la conséquence du travail scientifique et non sa cause* » (1988, p. 186).

C'est sur les courbes produites dans le laboratoire que les chercheurs vont se pencher « *en quête d'une signification* » et c'est dans ce contexte que les résultats expérimentaux deviennent des « données » (*ibid.*, p. 42). Ces données vont être confrontées aux hypothèses, aux autres résultats déjà publiés... C'est à partir de ce

¹⁰ Bachelard, 1933, p. 140.

¹¹ Bachelard, 1934, p. 12.

travail que vont être élaborées les productions langagières, des textes¹², destinés à l'extérieur du laboratoire. Le texte produit provient d'une pratique scientifique qui inclut une dimension manipulative, mais également une dimension langagière. Ce qui est caractéristique de ce passage de la pratique au texte, c'est la réduction drastique opérée, qui consiste à ne reprendre des multiples déterminations de la pratique que celles qui peuvent rendre compte d'une certaine cohérence, cohérence qui pourra être comprise par des interlocuteurs qui n'ont pas participé à cette pratique. Ainsi, une grande partie du travail au laboratoire, qui a permis le recueil des données, se fait oublier, et « *les épisodes et les déterminants multiples de la pratique* » sont « *effacés, occultés dans son produit* » (Rey, 2002, p. 51). Le texte produit est de plus en plus éloigné des situations qui l'ont vu naître, des conditions, des pratiques qui l'ont engendré. C'est également ce processus qui permet au texte de devenir de plus en plus autoréférentiel, ce qui signifie que « *si je veux comprendre ce qui y est écrit à un endroit donné, je dois me référer aux autres parties du même texte* » (*ibid.*, p. 52), même si Grize (1992) précise que l'effacement du producteur du texte n'est jamais complètement abouti. Ainsi, « *même lorsque le locuteur veut s'effacer, il lui arrive souvent de laisser pointer l'oreille* » (Grize, 1992, p. 47), ce qui se traduit notamment par l'usage des modalisations. Le processus de citation dans les textes scientifiques contribue également à rendre le texte autoréférentiel et permet d'ancrer le texte produit dans un environnement déjà riche en textes¹³. Cette question d'une pratique qui se déploie dans un univers de textes déjà-là pose des problèmes de transposition didactique. Comment la penser en situation de classe où cet environnement textuel n'existe pas ?

Ainsi, on peut dire que s'opère une décontextualisation qui permet l'autonomisation du texte destiné à l'extérieur et une recontextualisation dans l'espace des textes du savoir¹⁴, même si cette autonomisation n'est jamais complète puisque le texte, à lui seul, ne peut incorporer les savoirs techniques qui caractérisent certains laboratoires¹⁵. C'est cette difficulté à « *transmettre* » les savoir faire qui

¹² Nous reprenons à Bronckart sa définition de la notion de texte : « *la notion de texte peut s'appliquer à toute production verbale située, qu'elle soit orale ou écrite* » (1996, p. 73).

¹³ Les citations peuvent assurer au moins deux fonctions différentes : elles peuvent constituer une source de données à partir desquelles l'auteur conduit son raisonnement, ainsi les discours scientifiques « *sont essentiellement fondés sur des textes* » (Grize, 1992, p. 41). Les citations servent également à assurer la crédibilité de ce qui est avancé par l'auteur en la fondant sur ce qui a été établi par ailleurs (*ibid.*, p. 48).

¹⁴ Il convient de noter que Brossard conteste la possibilité d'une décontextualisation seule. Il a montré que toute décontextualisation s'accompagne nécessairement d'une recontextualisation (Brossard, 1997, 2004), c'est pour cette raison que nous utiliserons désormais la formulation décontextualisation-recontextualisation.

¹⁵ Ce qui conduit nécessairement à la coopération entre équipes de recherche comme le montre, par exemple, la découverte de l'ADN par Watson et Crick à l'articulation de la génétique, de la

conduit Roqueplo (1974) à émettre un doute à propos de la vulgarisation scientifique et Orange, (2007, p. 207) à s'interroger à sa suite : « *sans connaissance des problèmes techniques, peut-on développer complètement le fonctionnement critique des savoirs théoriques ?* ». Ce texte pourra alors venir alimenter la partie théorique du savoir scientifique assimilable à l'ensemble des textes disponibles dans la communauté scientifique¹⁶. Alors, il sera disponible pour être emprunté par d'autres chercheurs, d'autres praticiens qui pourront l'utiliser dans leur propre champ de pratique, dans un contexte plus ou moins proche de celui de sa production.

La question de l'autoréférencialité des textes scientifiques n'est pas aussi simple que cela et mérite que l'on s'y arrête. Même si le texte s'autonomise par rapport à la recherche qui l'a vu naître, dans les limites soulignées ci-dessus, une de ses caractéristiques est sa référence au(x) problème(s) scientifique(s) au(x)quel(s) il répond (même si tout texte est une réponse à un problème, dans les textes scientifiques le problème est explicité, ce qui n'est généralement pas le cas des textes littéraires). En ce sens, le texte scientifique renvoie à l'extérieur de lui-même, au style de pensée, au paradigme dont il est issu. De plus, dans chaque texte, la question de la référence, du renvoi au monde est fondamentale. Ainsi, bien que le texte s'autonomise, il n'est jamais complètement autonome puisqu'il reste lié à la communauté qui l'a produit, à son champ de questions, ce qui ne va pas sans poser de question pour penser les processus de décontextualisation-recontextualisation.

Pour ce qui concerne les types d'énoncés produits par les membres du laboratoire, Latour et Wooglar distinguent cinq types d'énoncés présentés dans le tableau 2-5.

physique théorique, de la cristallographie et de la chimie organique. C'est bien une mise en commun des savoirs faire de chacun qui a permis la construction du modèle de molécule d'ADN par Watson et Crick, chacun de ces savoir faire ne pouvant être « prêtés » par le laboratoire voisin (Watson, 1969).

¹⁶ La partie technique du savoir scientifique, même si une partie est incorporée dans les textes, est difficilement transmissible (voir deux exemples dans Orange, 2007).

Tableau 2-5. Typologie des principaux énoncés produits par les chercheurs à destination de la communauté scientifique (d'après Latour & Wooglar, 1988, p. 72-80)

Type	Description du type d'énoncés circulant dans le laboratoire
Type 5	Énoncés correspondant à un fait pris pour acquis.
Type 4	Énoncé du type « A entretient une certaine relation avec B ». La relation entre A et B est admise par la communauté scientifique mais elle est explicitée.
Type 3	Énoncé de type « A a une certaine relation avec B » + modalisation qui signale que la relation indiquée n'est pas encore totalement connue. Ces énoncés sont généralement associés à une référence (noms des auteurs et date).
Type 2	Énoncé du même type que les énoncés de type 3, mais les modalités portent ici sur la relation entre A et B, c'est-à-dire sur la généralité des données dont on dispose ou non. Ces énoncés sont des affirmations qui nécessitent encore des investigations.
Type 1	Énoncés correspondant à des spéculations.

Ils ont montré que l'activité principale du laboratoire est « *de transformer les énoncés d'un type dans un autre. Ce jeu vise à créer autant d'énoncés que possible de type 4* » (1988, p. 80).

I.4. Conclusion

L'activité langagière consubstantielle à l'activité scientifique prend donc des formes variées et nous avons distingué des formes langagières spécifiques au moment de la recherche et au moment de la justification.

Lors de la recherche, les échanges ont lieu dans un cadre informel où l'oral, étayé par des écrits (notes de lecture, résultats du laboratoire, écrits personnels), est la modalité principale. Ces échanges ont essentiellement une fonction heuristique et d'évaluation des explications produites. Ils se développent dans le cadre d'une logique *context-dependant* et principalement en langue naturelle.

Une fois l'explication stabilisée, il convient de la faire partager à la communauté scientifique. C'est le moment de la mise en texte du savoir et comme le précise Orange, même si des enjeux de pouvoir existent au sein de la communauté scientifique (Latour, 1989), « *les argumentations essentielles, celles qui servent d'appui à toutes les autres et seront validées par l'histoire des sciences, sont des argumentations qui entrent dans une démarche de preuve (Raynaud, 2003) et tentent donc de convaincre et non simplement de persuader* » (Orange, 2004a, p. 15).

Nous allons maintenant essayer de voir quelles sont les conséquences de ces considérations sur la conception du langage que nous allons devoir mobiliser pour rendre compte de ces processus dans le travail des élèves impliqués dans une activité de problématisation.

2. Quelle conception du langage pour rendre compte du versant langagier de l'activité scientifique ?

Pour rendre compte du versant langagier de l'activité scientifique, il convient de nous démarquer d'une conception structuraliste du langage qui postule « *l'idée d'un langage sans épaisseur [...] une matière transparente servant à transporter l'information* » (Borzeix, 2001). Pour les relations entre science et langage, cette conception peut être représentée par cette formule de Barthes qui l'énonce pour mieux s'en démarquer : « *pour la science, le langage n'est qu'un instrument, que l'on a intérêt à rendre aussi transparent, aussi neutre que possible, assujetti à la matière scientifique (opérations, hypothèses, résultats) qui dit-on, existe en dehors de lui et le précède : il y a d'un côté et d'abord les contenus du message scientifique, qui sont tout, d'un autre côté et ensuite la forme verbale chargée d'exprimer ces contenus, qui n'est rien* » (1984/1993, p. 12). Compte tenu du rôle du langage dans l'activité scientifique mise en évidence à la section précédente, nous ne pouvons souscrire à une telle conception du langage, même si l'on considèrerait uniquement les textes de savoir stabilisés qui, de par leur caractéristique autoréférentielle, peuvent laisser croire à la neutralité du langage¹⁷.

Ainsi, la conception du langage qui nous semble pouvoir rendre compte des liens entre activité scientifique et activité langagière est celle qui s'intéresse à la dimension (re)configurante du langage (Ricoeur, 1983 ; Bronckart, 1996), opérante (Merleau-Ponty, 1968) ou encore structurante (Lacoste, 1993). Il s'agit de prendre en compte la dimension constructive du langage et du travail langagier. Dans ce sens, une capacité première du langage est de construire des mondes et de produire des objets de discours en référence au monde objectif. En effet, Grize précise que, même dans le cadre des raisonnements scientifiques, ceux-ci ne portent pas sur les choses mais sur ce qui est dit des choses, « *ainsi existe-t-il une opération logico-discursive qui renvoie, non au monde tel qu'il est naïvement donné, mais à celui qui vient d'être construit : "ceci montre que", "cette idée ne devrait être explorée que", "cette préférence donnée à ce qui précède", etc.* » (1992, p. 44). Cette capacité du langage à créer un monde renvoie à l'activité de référenciation. Celle-ci est centrale dans l'énonciation, « *à travers elle, la parole s'articule à ce qui n'est pas elle, à l'extralinguistique, en construisant à travers un mode de présentation linguistique un "monde d'objets qui n'ont dans le langage que la propriété d'être mis en parole"* »

¹⁷ Comme le précise Grize, « *on s'aperçoit qu'il s'agit-là d'une sorte d'idéal qui n'est véritablement atteint que dans le calcul* » (1992, p. 46-47).

(Fisher, 1999, p. 21) » (Nonnon, 2001-2002, p. 28). Si nous n'admettons pas cette capacité du langage à créer des mondes possibles (« *mise-en mots* » de François, 1993), il devient difficile d'envisager la possibilité d'invention, de conception d'hypothèses, de mise en doute de certains énoncés, de contestation. Quelles sont les principales conséquences de cette fonction de reconfiguration du langage ?

2.1. Les pratiques langagières de la communauté scientifique sont constitutives des savoirs scientifiques

À plusieurs reprises dans ce travail, nous avons fait référence à la communauté scientifique que l'on peut définir « *comme un groupe social assez bien défini dont les membres se reconnaissent entre eux (reconnaissance interne) et sont officiellement reconnus dans notre société (reconnaissance externe), rétribués et valorisés par leurs alliés privilégiés, et reconnus comme experts* » (Fourez, 1992). Cette communauté n'est pas apparue toute constituée *ex nihilo*, mais a une histoire. La vision positiviste de la science aurait tendance à proposer une vision anhistorique de celle-ci, ce qui revient à nier la dimension sociale et langagière de l'activité scientifique. Ainsi, les conduites individuelles à l'intérieur de cette communauté « *constituent le résultat d'un processus historique de socialisation* » (Bronckart, 1996, p. 19) et ce processus de socialisation est rendu possible notamment par l'existence « *d'interactions à caractère sémiotique qui fondent la construction d'une rationalité de l'univers, un rapport au monde et à autrui qui leur est propre* » (Jaubert, 2000, p. 41). Ce sont donc les pratiques des scientifiques, leurs activités qui assurent la cohérence de la communauté scientifique et « *le langage relie d'un côté la vie pratique d'une communauté et de l'autre la réalité qu'il rapporte* » (Shapin, 1988). Ainsi, les savoirs produits par un membre de la communauté n'ont plus simplement une dimension individuelle, mais ceux-ci s'extériorisent et prennent forme dans une culture, pour reprendre les analyses de Fleck (1935) ou de Leontiev (1976). Un trait caractéristique de la culture concerne la dimension cumulative du savoir produit où « *chaque nouvelle génération hérite et donc bénéficie des outils créés par les générations antérieures, peut les améliorer, voire greffer sur eux de nouveaux outils* » (Brossard, 1998). Cette capacité à assurer le stockage de

l'information, son accumulation et donc la critique et la rectification est, selon Goody (1979), une des caractéristiques des sociétés qui disposent du langage écrit¹⁸.

Comme tous les « *domaines de l'activité humaine, aussi variés soient-ils, se rattachent toujours à l'utilisation du langage* » (Bakhtine, 1984, p. 265), l'existence d'une communauté scientifique se traduit également par la formation de pratiques langagières qui lui sont spécifiques¹⁹. Les travaux de Licoppe (1996), par exemple, ont montré, à travers l'étude historique des discours scientifiques du XVII^e au XIX^e siècle, comment la façon dont l'expérience peut faire preuve est intimement liée à des pratiques langagières spécifiques qui ont évolué et qui sont, pour partie, liées au contexte social de l'époque. Il précise que « *les attributs sociologiques et le rôle du public [...] apparaissent à ce niveau de lecture et d'analyse des mémoires comme indissociables des procédures de construction du fait empirique lui-même* » (Licoppe, 1996, p. 16).

Comme l'activité scientifique possède une part langagière consubstantielle, la communauté scientifique forme, entre autres, une communauté discursive et ses pratiques langagières sont constitutives des savoirs produits, comme le montrent les analyses de Foucault. Ce dernier analyse les « *éléments qui doivent avoir été formés par une pratique discursive pour qu'éventuellement un discours scientifique se constitue, spécifié non seulement par sa forme et sa rigueur, mais aussi par les objets auxquels il a à faire, les types d'énonciation qu'il met en jeu, les concepts qu'il manipule, et les stratégies qu'il utilise* » (1969, p. 237). Ainsi, le discours n'est pas seulement là pour rendre compte, à travers une langue, d'une réalité qui lui est extérieure, mais le discours permet la construction des objets dont il va devoir rendre compte.

Deux remarques pour conclure. La communauté discursive scientifique produit des pratiques langagières spécifiques qui correspondent à des genres de discours qui ont une histoire et qui sont en dépôt dans la culture. C'est le cas, par exemple, du format des articles scientifiques (Ducancel, 1988, p. 174-177 ; Jacobi, 1993), des rapports de recherche, des communications scientifiques dans des colloques, mais

¹⁸ Il ne s'agit pas de dire que les sociétés sans écriture n'ont pas de culture, mais « *dans les cultures orales, les limites de la mémoire, le rôle de l'oubli et l'utilisation inventive du langage et de la gestuelle font que la diversité humaine est dans un état de création continue, souvent cyclique plutôt que cumulative, même dans la plus simple des sociétés humaines* » (Goody, 2007, p. 78).

¹⁹ « *L'utilisation d'une langue s'effectue sous forme d'énoncés concrets, uniques (oraux et écrits) qui émanent des représentants de tel ou tel domaine de l'activité humaine. L'énoncé reflète les conditions spécifiques et les finalités de chacun des domaines. (...) Tout énoncé pris isolément est, bien entendu, individuel, mais chaque sphère d'utilisation de la langue élabore ses types relativement stables d'énoncés, et c'est ce que nous appelons les genres de discours* » (Bakhtine, 1984, p. 265).

également de la controverse scientifique (Raynaud, 2003). Il s'est donc constitué un réservoir de genres de discours en dépôt dans la culture et en évolution constante dans lequel chaque membre de la communauté peut puiser. Cela correspond à ce que Bronckart appelle l'intertexte (1996, p. 103-104) qui rend possible les échanges verbaux²⁰. Nous avons indiqué précédemment que les scientifiques produisent des textes destinés à l'extérieur qui répondent à des normes différentes (communication institutionnelle ou communication publique). Comme la communauté scientifique n'est pas isolée dans la société et entre en relation avec d'autres communautés, les textes produits correspondent à des genres de discours spécifiques à chaque communauté discursive. De ce fait, les formes linguistiques n'ont pas une signification en absolue, indépendante de leur contexte d'utilisation.

Le deuxième point, que nous voulions souligner, concerne les liens constitutifs qui existent entre les savoirs produits par une communauté discursive et les pratiques langagières propres à celle-ci. Il faudra que nous examinions plus tard les conséquences didactiques de ces remarques.

2.2. Une conception dialogique du langage

Si nous prenons au sérieux l'idée que l'utilisation du langage est nécessairement ancrée dans une communauté discursive, il faut que la conception du langage à laquelle nous souscrivons puisse rendre compte pleinement de la fonction constructive du langage. Certains linguistes peuvent sous-évaluer cette fonction, ce qui les conduit à analyser le langage uniquement « *du point de vue du locuteur comme si celui-ci était seul, hors du rapport nécessaire aux autres partenaires de l'échange verbal* » (Bakhtine, 1984, p. 273). Cette critique conduit Bakhtine à développer une conception dialogique du langage où « *ce qui importe ce n'est plus le mot ou quelque forme que ce soit, mais la circulation discursive dans laquelle la différence d'accentuation²¹ fonctionne comme ce qui fait sens* » (François, 1989,

²⁰ « *Si les genres (du discours) n'existaient pas et si nous n'en avions pas la maîtrise, et qu'il faille les créer pour la première fois dans le processus de la parole, qu'il nous faille construire chacun de nos énoncés, l'échange verbal serait quasiment impossible* » (Bakhtine, 1984, p. 285).

²¹ L'accentuation renvoie à la perspective sociale. François la définit comme ceci : « *mot avant tout désignatif d'objet, destiné à s'effacer derrière cette fonction, mot marqué comme repris d'autrui, mot indiqué comme obscur, comme mal adapté, ou au contraire non-métaphore qualifiée par sa différence d'accentuation* » (1989, p. 43).

p. 43). Bakhtine décrit le caractère dialogique du langage de la façon suivante : « *les frontières de l'énoncé concret, compris comme une unité de l'échange verbal, sont déterminées par l'alternance des sujets parlants, c'est-à-dire par l'alternance des locuteurs. Tout énoncé – depuis la réplique brève jusqu'au roman ou au traité scientifique – comporte un commencement absolu et une fin absolue : avant son début, il y a les énoncés des autres, après sa fin, il y a les énoncés-réponse des autres (quand bien même ce ne serait que sous la forme d'une compréhension responsive active muette ou d'une action-réponse fondée sur une telle compréhension)* » (Bakhtine, 1984, p. 277). Le dialogisme, caractéristique des productions langagières, est double et concerne aussi bien la modalité orale qu'écrite.

Le *dialogisme synchrone*, assez évident dans le dialogue oral, correspond à l'influence provoquée par l'activité langagière de A dans le discours tenu par B. Ainsi, et pour généraliser, les productions langagières des interlocuteurs entrent en résonance avec les discours qui sont tenus par les autres participants de l'échange. « *En fait l'auditeur qui reçoit et comprend la signification (linguistique) d'un discours adopte simultanément, par rapport à ce discours, une attitude responsive active : il est en accord ou en désaccord (totalement ou partiellement), il complète, il adapte, il s'apprête à exécuter, etc., et cette attitude de l'auditeur est, dès le tout début du discours, parfois dès le premier mot émis par le locuteur, en élaboration constante durant tout le processus de l'audition et de compréhension* » (*ibid.*, p. 274). Le dialogisme synchrone remet radicalement en cause une conception classique de la communication : encodage d'un message, transmission des bits d'information, décodage du message. Pour reprendre une métaphore de Grize, la communication a davantage à voir avec la résonance au sens physique du terme (1992, p. 43). Le concept de schématisation, développé par Grize, associé aux opérations logico-discursives qui permettent la construction des objets du discours (1982, 1990, 1996), donne des outils d'analyse de la dynamique des échanges langagiers (qu'ils soient oraux ou écrits).

Par ailleurs, Bakhtine introduit également un *dialogisme diachrone*. Comme l'activité langagière est inscrite dans un contexte social, elle se réfère également à tous les autres discours, réels ou potentiels qui ont/auraient pu être déjà tenus sur le même objet dans la communauté discursive en question. « *Le discours rencontre toujours le discours d'autrui sur tous les chemins qui mènent vers son objet, et il ne peut pas ne pas entrer avec lui en interaction vive et intension. Seul l'Adam mythique, abordant avec le premier discours un monde vierge et encore non dit, le solitaire Adam, pouvait vraiment éviter absolument cette réorientation mutuelle par rapport au discours d'autrui, qui se produit sur le chemin de l'objet* » (Bakhtine). Ainsi, comme le précise Todorov, « *non seulement donc, les mots on toujours déjà*

servi, et portent en eux-mêmes les traces de leurs usages précédents ; mais les "choses" aussi ont été touchées » (1981, p. 98). Dans la communication des scientifiques au laboratoire, nous avons montré comment les textes produits par la communauté formaient un ensemble inter-relié (les références aux autres discours se faisant généralement par le biais des citations, des renvois et références bibliographiques) qui constitue le savoir scientifique.

Nous pouvons maintenant déterminer plusieurs conséquences de la structure dialogique des activités langagières.

La première est que tous les discours tenus par les scientifiques, que ce soit dans les échanges informels au laboratoire ou dans le texte d'un article publié, s'inscrivent dans un interdiscours. Ils n'ont pas une signification intrinsèque, mais leur sens émerge des relations qu'ils entretiennent avec les autres textes produits dont on perçoit les échos en leur sein. C'est en cela que tous les discours scientifiques « *sont fondamentalement polyphoniques* » (Jaubert, 2007a, p. 59) ou encore « *hétéroglossiques* ». Pour différencier l'hétéroglossie de la polyphonie (notion développée par Ducrot [1984], à partir de Bakhtine [1978, 1984]²²), il convient de noter que pour Bakhtine, tout énoncé est inscrit dans un contexte social et qu'il est toujours porteur des valeurs, croyances, savoirs, pratiques diverses constitutives de la communauté discursive au sein de laquelle cet énoncé est tenu²³. Ducrot, en revanche, ne s'intéresse qu'à l'aspect linguistique des énoncés et à la distinction du sujet parlant, du locuteur et de l'énonciateur (dont on peut entendre la voix dans le discours, sans que, pour autant, le locuteur la prenne en charge) pour expliquer le fonctionnement de ces énoncés, en occultant l'origine sociale, contextuelle des énoncés. Dans notre travail, nous utiliserons le terme d'hétéroglossie pour insister sur l'importance de l'ancrage contextuel de l'activité langagière. Ainsi, dans un énoncé, on peut trouver plusieurs voix qui ne peuvent pas être toutes attribuées à au sujet parlant. Les paramètres de la situation d'énonciation peuvent permettre de signaler (explicitement ou non) la superposition de ces différentes voix, c'est ce processus de signalisation que nous appelons hétéroglossie.

La seconde conséquence de la notion de dialogisme et de circulation discursive concerne la critique d'une distinction classique entre l'énonciation, active, et la

²² Voir le numéro de la revue *Pratiques* (2004, n° 123-124) sur le thème de la polyphonie, en particulier les articles de Masseron *et al.* et de Petijean.

²³ « *La vie sociale vivace et le devenir historique créent, à l'intérieur d'une langue nationale abstraitement unique, une multitude de mondes concrets, de perspectives littéraires, idéologiques et sociales fermées à l'intérieur de ces diverses perspectives, d'identiques éléments abstraits du langage se chargent de différents contenus sémantiques et axiologiques, et résonnent différemment* » (Bakhtine, 1978/1987, p. 110).

réception passive d'un énoncé qui serait intrinsèquement signifiant. Comme le précise François, « *l'unité concrète est celle qui est donnée par la compréhension responsive, non seulement la reformulation, mais le déplacement produit par une réponse qui n'est pas qu'une reprise* » (1989, p. 44). Ainsi, la réception d'un énoncé est aussi active que sa production et nécessite de la part du récepteur, en fonction du contexte de l'énonciation, une reconstruction de la signification de cet énoncé : « *tout acte de compréhension est une réponse, dans la mesure où il introduit l'objet de la compréhension dans un nouveau contexte, le contexte potentiel de la réponse* » (Volochinov, 1977, p. 101). Cette reconstruction peut générer des déplacements de significations : « *une répétition n'est pas une reprise à l'identique. [...] Il n'y a pas d'abord ce que le signe veut dire et ensuite sa réutilisation ; il y a un signe qui est dans le mouvement même de sa réutilisation* » (François, 1998), d'où l'intérêt que l'on pourra porter aux diverses reformulations.

Enfin, cette conception dialogique du langage est compatible, selon nous, avec la conception problématologique du langage développée par Meyer (1982). Lorsque Meyer affirme que « *les expressions isolées, détachées du contexte, sont en soi apocritiques et problématologiques* »²⁴ (1979, p. 240) nous pouvons mettre cette affirmation en relation avec la distinction proposée par Bakhtine entre proposition et énoncé : « *la proposition, en tant qu'unité de langue, n'est pas apte à conditionner directement une attitude responsive active. C'est seulement en devenant un énoncé fini qu'elle acquiert une telle aptitude* » (1984, p. 289). C'est donc en fonction du contexte, de ce qui a été dit avant, de ce que l'on attend qu'il soit dit de cet énoncé, que l'énoncé peut être problématologique ou apocritique. La conception dialogique du langage nous permet de rendre compte en quoi une « *théorie scientifique est à la fois un instrument d'interrogation, et une solution, un corpus de réponses. À ce titre, les théories sont modifiables, et n'arrêtent jamais l'inlassable questionnement : le savant interroge toujours car ses théories ne sont jamais seulement réponses, une fois pour toutes* » (Meyer, 1979, p. 242).

Pour conclure avec Volochinov, « *la "signalité" pure [du langage] n'existe pas [...] la forme est orientée par le contexte* » (1977, p. 101), les formes linguistiques n'ont donc pas une signification indépendante de leur contexte d'utilisation. En revanche, elles sont significatives du point de vue adopté par l'énonciateur pour

²⁴ Pour Meyer, toute proposition assure la double fonction du langage : « *traiter des problèmes qui s'y pose en en proposant la solution ou en en exprimant la nature. Dès lors, un discours, une proposition peuvent aussi bien marquer la question que la solution* » (1982, p. 125). Ainsi toute proposition est à la fois apocritique (ce qui caractérise une réponse) par rapport à une question qu'elle résout et problématologique (ce qui renvoie à la question) par rapport à une question qu'elle soulève sachant que « *la question à laquelle la réponse renvoie (problématologiquement) diffère de celle qu'elle résout (apocritiquement)* » (ibid.).

rendre compte des objets du monde auxquels elles réfèrent. Ainsi, le langage en contexte permet la négociation de la signification des énoncés, des repositionnements énonciatifs « *dont le but est de co-construire un contexte partagé, dans lequel les mondes convoqués, au travers des voix mises en scène, deviennent compatibles* » (Jaubert & Rebière, 2005, p. 3). Tout ce travail langagier est en œuvre, comme nous l'avons déjà signalé à la section 1, lors de la construction des nouvelles explications et pour leur communication. C'est en cela que le langage est un outil de conceptualisation.

Comme le langage est un lieu de travail des significations en contexte (construction, ajustement, négociation), l'activité langagière correspond à un processus pouvant être analysé par la mobilisation d'outils auxquels nous avons déjà commencé à faire référence au fil du texte : analyse des schématisations, des reformulations...

2.3. Les pratiques langagières s'inscrivent dans des genres de discours différents

Nous avons présenté à la section 1 différentes formes de textes qui participent à l'élaboration des nouvelles explications et à leur communication. Au niveau de la communication des explications à l'extérieur du laboratoire, nous avons noté que le processus de mise en texte de ces explications se traduit par une transformation des textes qui devenaient de plus en plus autoréférentiels. Nous pouvons donc distinguer différents *genres de textes*. Le concept de genre est emprunté à Bakhtine : « *pour parler nous nous servons toujours des genres du discours, autrement dit, tous nos énoncés disposent d'une forme type et relativement stable, de structuration d'un tout* » (Bakhtine, 1984, p. 284) et nous avons déjà signalé (section 2.1.) que chaque genre de texte correspond à une forme spécifique d'une sphère d'activité et est en dépôt dans la culture.

Il existe une grande variété de genres de discours différents, mais d'après Bakhtine, « *il importe [...] de prendre en considération la différence essentielle qui existe entre le genre de discours premier (simple) et le genre de discours second (complexe)* » (1984, p. 267). Les discours du genre premier entretiennent « *un rapport immédiat avec les situations dans lesquelles ils sont produits* » (Bronckart, 1996, p. 62), ainsi « *les discours premiers ont une structure qui est dépendante des actions non-langagières auxquelles ils s'articulent* » (*ibid.*, p. 63). Les discours de

genre second « *apparaissent dans les circonstances d'un échange culturel (principalement écrit) [...] plus complexe et relativement plus évolué* » (Bakhtine, 1984, p. 267). Ainsi, ils sont le lieu d'une reconfiguration de l'action dans laquelle le locuteur est engagé grâce à la mise à distance qu'ils permettent. Cette réorganisation de l'action se fait selon les schèmes langagiers disponibles dans l'intertexte partagé par la communauté dans laquelle l'énoncé est produit et au sein de laquelle il doit circuler.

Cette distinction est intéressante car elle permet de rendre compte des transformations subies par les discours du genre premier lorsqu'ils sont utilisés pour former des discours du genre second. Bakhtine note que les « *genres seconds absorbent et transmutent les genres premiers (simple) de toutes sortes, qui se sont constitués dans les circonstances d'un échange verbal* » (1984, p. 267) et il indique deux transformations caractéristiques subies par les discours premiers : ils perdent leur rapport immédiat, d'une part, au réel existant et, d'autre part, au réel des énoncés d'autrui. Ainsi, les énoncés de genre second se sont autonomisés par rapport à la situation, à l'action qui leur a donné naissance, ils font l'objet d'une structuration autonome, spécifiquement linguistique et en cela ils constituent de véritables actions langagières (Bronckart, 1996, p. 63). Ce processus de transformation des discours correspond à ce que Jaubert et Rebière nomment *secondarisation* (2005)²⁵.

Le passage des discours de genre premier à des discours de genre second permet donc une reconfiguration de l'action qui est décrite de façon développée par Ricœur (1983, 1984, 1985) pour le récit, avec le processus de mise en intrigue²⁶. Ricœur décrit la mise en intrigue comme la mise en œuvre d'une triple *mimesis*. La *mimesis* I permet d'« *imiter ou représenter l'action* », c'est-à-dire d'abord de « *pré-comprendre ce qu'il en est de l'agir humain : de sa sémantique, de sa symbolique, de sa temporalité* » (1983, p. 125). La *mimesis* II permet de remettre ensemble ce qui pouvait apparaître comme disparate, hétérogène, discordant dans le temps de l'action. C'est le rôle configurant²⁷ de la *mimesis* II « *grâce à laquelle l'intrigue transforme les événements en histoire* » (*ibid.*, p. 129). Enfin, la *mimesis* III

²⁵ Ce concept est particulièrement opératoire à l'école lorsque l'on envisage les questions d'apprentissage car « *ce qui importe dans ce cas, c'est le processus de transformation progressive du langage déjà-là, sa mise au travail* » (Jaubert, 2007, p. 208).

²⁶ Ricœur a proposé une interprétation de la fonction reconfigurante caractéristique des genres seconds uniquement pour le cas de texte de type narratif et ne fait pas référence à Bakhtine dans *Temps et récit*.

²⁷ « *Cet acte configurant consiste à "prendre ensemble" les actions de détail ou ce que nous avons appelé les incidents de l'histoire ; de ces divers éléments, il tire l'unité d'une totalité temporelle* » (Ricœur, 1983, p. 129). « *À ce titre le prendre ensemble narratif comporte la capacité de se distancier de sa propre production, et par là de se dédoubler* » (Ricœur, 1984, p. 115).

« marque l'intersection du monde du texte et du monde de l'auditeur ou du lecteur. L'intersection, donc, du monde configuré par le poème et du monde dans lequel l'action effective se déploie et déploie sa temporalité spécifique » (*ibid.*, p. 136). Nous avons quelques remarques à faire sur ce processus de transformation d'un discours de genre premier en un discours de genre second.

Ricœur indique que c'est le passage à l'écrit qui permet la mise à distance nécessaire à la reconfiguration de l'action. Mais, suivant Bronckart, nous pensons que « c'est l'organisation textuelle elle-même, qu'elle soit en modalité orale ou en modalité écrite, qui est dotée de cette fonction de restructuration » (1996, p. 66). Le processus de transformation des genres premiers en genres seconds peut donc avoir lieu aussi bien à l'oral qu'à l'écrit. En effet, les genres de discours cristallisent des systèmes d'attentes, historiquement et socialement créés, en dépôt dans la culture. Nous pensons également, toujours à la suite de Bronckart, que nous pouvons étendre la « thèse de la restructuration permanente de la pensée pratique par les genres narratifs » (1996, p. 65) à l'ensemble des discours seconds. Ainsi, les différents genres de discours produits dans le cadre d'une activité scientifique, comme lorsqu'il s'agit de décrire une observation, une expérimentation, d'expliquer, de démontrer, d'argumenter ou de justifier, peuvent être considérés comme des discours de genre second qui permettent une réorganisation de l'action liée à leur production.

Enfin, la triple mimésis, en particulier la mimésis I et la mimesis III permettent de rendre compte de la dimension dialogique du langage caractérisée à la section 2.2.

2.4. Conclusion

Cette conception du langage et du travail langagier dans un processus de communication, présentée rapidement ici, le considère comme « un ensemble de pratiques socioculturelles, cognitives, affectives dans lesquelles se jouent l'élaboration des savoirs, de l'identité du sujet et de son rapport au monde » (Bautier & Rochex, 1998, p. 144). Elle nous semble en mesure de rendre compte du versant langagier consubstantiel à l'activité scientifique.

Si nous reprenons le processus décrit à la section 1.2. et 1.3. à la lumière de cette conception, nous pouvons dire que lors de la recherche d'une explication²⁸, l'activité

²⁸ Il ne s'agit pas de dire que le processus est obligatoirement et formellement linéaire, les deux processus de recherche et de mise en texte pouvant s'entremêler au cours de la recherche, mais il s'agit pour nous de caractériser des fonctionnements langagiers qui ont des caractéristiques

langagière, principalement orale, est fortement dépendante de l'action qui a lieu au laboratoire : on lit des articles, on les commente, on construit des protocoles expérimentaux, on commente des courbes, des graphes (tout ceci relève des genres premiers comparativement aux autres discours à venir, même s'ils sont déjà très calibrés). L'explication se construit à l'articulation des pratiques matérielles et langagières, dans le contexte du laboratoire : c'est le temps de l'invention, de la construction des objets scientifiques (travail d'énonciation et de référenciation), de l'induction, de l'analogie, du doute, de la controverse, les objections apparaissent, on les anticipe, on réagit face aux autres publications, on tente de les vérifier, de les justifier, de les invalider, on construit des possibles, on les soumet à la discussion, on établit des impossibilités, des nécessités... Les différentes voix en présence (en synchronie et en diachronie) se font entendre plus ou moins bruyamment dans les discours, elles sont plus ou moins dissonantes. La modalité orale plus souple, plus créative est propice à la phase de construction de l'explication. Ces discours relèvent des genres premiers (même si certaines formes canoniques, comme les comptes-rendus expérimentaux, par exemple, relèvent déjà de genres seconds) et d'une logique *context-dependant*.

Dans le temps de la mise en texte de l'explication, pour qu'elle puisse être communiquée à l'extérieur du laboratoire, se met en oeuvre un processus de réorganisation et donc de transformation des discours déjà produits en discours de genre second. Ce processus de mise à distance, qui peut avoir lieu à l'écrit comme à l'oral, permet de reconfigurer l'action, de prendre ensemble les étapes qui ont conduit à la production de l'explication selon les formats canoniques partagés par la communauté scientifique. Les différentes voix sont encore présentes par le biais des modalisations, des références bibliographiques, mais l'hétéroglossie est orchestrée. La logique *context-dependant* cède la place à l'argumentation. Le texte devient de plus en plus autoréférentiel. Ce type de texte, que l'on peut considérer, d'un point de vue macroscopique, comme explicatif, puisqu'il vise à expliquer certains phénomènes biologiques pour ce qui nous intéresse ici, est construit à partir de différentes séquences qui n'ont pas toutes une fonction explicative. Veslin (1988, p. 100-101) présente les séquences qui constituent généralement les textes scientifiques (nous avons complété son analyse) :

- séquence d'introduction qui formule le problème scientifique abordé ;
- séquences descriptives qui présentent les observations, les expérimentations réalisées ;

différentes et qui pourront donc être analysés en mobilisant des outils différents. De plus, au sein d'un texte explicatif, nous pourrions trouver des séquences (au sens de Adam, 1992) qui ne relèvent pas *sensu stricto* de l'explication, mais de la description, de l'argumentation, de la démonstration, de la justification.

- séquences explicatives proprement dites ;
- séquences justificatives et argumentatives qui viennent étayer l'explication produite en la situant notamment par rapport aux savoirs stabilisés au sein de la communauté scientifique.

Afin de clarifier ce que nous entendons sous les termes expliquer, justifier, démontrer, argumenter, nous nous référons au tableau 2-6, tableau emprunté à Garcia-Debanc (1994, p. 12).

Tableau 2-6. Les traits distinctifs des termes démontrer, argumenter, expliquer, justifier (Garcia-Debanc, 1994, p. 12)

	DÉMONTRER	ARGUMENTER	EXPLIQUER	JUSTIFIER
ENJEU : Résultat visé dans la production du discours	Prouver la validité d'un résultat par un raisonnement de type déductif conforme aux exigences de la discipline (mathématiques, sciences physiques)	Convaincre, faire croire, faire partager un système de valeurs, une opinion. Donner des raisons de croire, des raisons de faire.	Modifier un état de connaissances en présentant un raisonnement appuyé sur des faits pertinents pour répondre à une question posée en « pourquoi » ou en « comment ».	Valider une asser- tion ou accréditer un comportement. *
FOCALISATION DU DISCOURS	Énoncé-cible toujours explicitement formulé.	Énoncé-cible qui peut être implicite	Fait reconnu sur lequel porte une question. L'étonnement ou la non-compréhension sont au départ de toute explication.	Énoncé-cible explicite et initial. Le doute ou le rejet sont au départ de toute justification
NATURE ET STATUT DES ÉLÉMENTS MIS EN RELATION	Théorèmes Axiomes ... Statut prédéfini de cha- cun de ces éléments à l'intérieur du cadre théorique.	Valeurs confortées au cours du raisonnement.	Faits et contenus conceptuels.	Valeurs
POSITION DES ÉLÉMENTS ARTICULÉS	Chânes de proposi- tions (les « pas déduc- tifs ») conformes à la formalisation	Ordre non contraint : arguments puis thèse ou thèse puis arguments.	Ordre d'enchaînement des faits conforme à la logique de l'explication.	Conclusion antérieure aux arguments
MARQUAGE DES RELATIONS ENTRE PROPOSITIONS	Rien ou organiseurs textuels.	Connecteurs argumentatifs ou ponctuation.	Organiseurs textuels et connecteurs.	Connecteurs argu- mentatifs ou ponc- tuation
POSITION DE L'ÉNONCIATEUR	Garant d'un système de valeurs sociales définissant une communauté scientifique (« le débat mathématique »)	Agent	Témoin	Agent
CRITÈRES DE RÉUSSITE	Correction du jeu formel : conformité aux règles d'articulation des propositions (« pas de déduction »)	Efficacité pragmatique (cf. Aristote : acquiescement du suspect, vote politique...)	Exactitude des notions convoquées. Pertinence des relations causales.	Validité (exactitude) Légitimation

(* comment = comment cela se passe ? et pas comment faire ? qui serait prescriptif)

Il ne s'agit pas de délimiter de façon restrictive le sens de ces différents termes car les frontières sont généralement beaucoup plus difficiles à établir²⁹ dans le fonctionnement du langage en langue naturelle, mais de donner quelques repères.

Quels sont alors les liens entre ce processus de secondarisation et l'activité de problématisation telle que nous l'avons définie dans le premier chapitre ? Pour tenter de construire ce problème, nous allons faire appel à la topique des trois mondes de Popper. Nous ne la présenterons pas intégralement, mais nous essaierons de pointer les éléments qui pourraient nous permettre de mieux comprendre ces liens.

Popper distingue « *premièrement, le monde des objets physiques ou des états physiques ; deuxièmement, le monde des états de conscience, ou des états mentaux, ou peut-être des dispositions comportementales à l'action ; et troisièmement, le monde des contenus objectifs de pensée, qui est surtout le monde de la pensée scientifique, de la pensée poétique et des œuvres d'art* »³⁰ (1991/1998, p. 181-182). Ces distinctions ont principalement pour objectif de démonter l'objectivité des connaissances et de proposer un mécanisme qui explique le progrès de la connaissance scientifique. La connaissance objective « sans sujet connaissant » (*ibid.*, p. 185) s'oppose à une théorie de la connaissance subjective, c'est-à-dire « *celle qui repose sur les dispositions subjectives à intégrer psychologiquement et passivement des contenus à partir d'expériences sensorielles et identifiées comme des contenus de croyances* » (Robillard, 2004, p. 6). Popper accompagne ces distinctions de six thèses, trois principales et trois auxiliaires présentées dans le tableau 2-7.

²⁹ Par exemple, Apothéloz et Miéville notent que « *relations accréditives (donner des raisons de dire) et relations explicatives (donner des raisons d'être) ne s'excluent pas nécessairement* » (1989, p. 251).

³⁰ Il convient d'explicitier qui sont les habitants du troisième monde de Popper : « *Parmi les habitants de mon "troisième monde", il y a, plus particulièrement, les systèmes théoriques ; mais il y a aussi des habitants qui sont tout aussi importants, ce sont les problèmes et les situations de problème. Et je montrerai que les habitants les plus importants de ce monde, ce sont les arguments critiques, et ce qu'on peut appeler – par analogie avec un état physique ou un état de conscience – l'état d'une discussion ou l'état d'un échange d'arguments critiques ; et il y a aussi bien sûr, les contenus des revues, des livres et des bibliothèques* » (Popper, 1991/1998, p. 182-183) et plus loin : « *je considère les arguments comme les habitants les plus importants de mon troisième monde* » (*ibid.*, p. 203).

Tableau 2-7. Les six thèses associées à la topique des trois mondes de Popper (1991/1998, p. 184-189)

Thèse principale 1	<i>« L'épistémologie traditionnelle, en se concentrant sur le deuxième monde, ou sur la connaissance au sens subjectif, est hors sujet quand elle étudie la connaissance scientifique »</i>
Thèse principale 2	<i>« l'étude du troisième monde largement autonome de la connaissance objective est d'une importance décisive pour l'épistémologie »</i>
Thèse principale 3	<i>« une épistémologie objectiviste qui étudie le troisième monde peut nous aider à faire la lumière sur de larges pans du deuxième monde, celui de la conscience subjective, en particulier les processus de pensée subjective des scientifiques ; mais la réciproque n'est pas vraie »</i>
Thèse auxiliaire 1	<i>« le troisième monde est une produit naturel de l'animal humain »</i>
Thèse auxiliaire 2	<i>« le troisième monde est largement autonome [...] il est autonome bien qu'il soit notre produit et qu'il ait un puissant effet de rétroaction sur nous ; sur nous en tant que nous sommes des habitants du deuxième monde et même du premier monde »</i>
Thèse auxiliaire 3	<i>« c'est grâce à cette interaction entre nous et le troisième monde que la connaissance objective se développe »</i>

Le point sur lequel nous voulons porter notre attention concerne les relations entre le deuxième et le troisième monde de Popper qui pourraient nous permettre de mieux comprendre les relations entre problématisation et transformation des discours de genre premier en discours de genre second, même si nous ne voulons pas dire que les objets du premier et du deuxième monde de Popper relèvent de genres premiers et les objets du troisième monde de genres seconds.

Il pourrait sembler y avoir une contradiction entre l'autonomie du troisième monde, principalement l'idée que le troisième monde peut nous aider à comprendre le second mais pas l'inverse, et le fait que le troisième monde soit produit par l'homme dont les actions, y compris langagières, sont situées dans le deuxième monde. Suivons l'analogie biologique proposée par Popper pour étayer son argumentation : il indique l'importance de distinguer, dans la production d'un objet biologique (comme une toile d'araignée ou un nid d'oiseau), le processus du produit. Dans le cas du savoir scientifique, il convient donc de distinguer le processus de production de ses caractéristiques : *« une très grande partie du troisième monde objectif des théories effectives et potentielles, des livres et des arguments, prend naissance comme sous-produit inintentionnel des livres et arguments effectivement*

produits »³¹ (*ibid.*, p. 195). C'est par cette distinction que Popper rend possible l'articulation entre les deux aspects qui pouvaient paraître contradictoires. Comment pouvons-nous mobiliser cette distinction entre processus de production et propriétés du produit afin de penser l'articulation entre la problématisation et la transformation des discours ? Nous proposons de voir le passage entre le moment où le savoir s'élabore et le moment où le savoir est produit, et où il devient donc indépendant de ceux qui l'ont produit, comme un processus d'autonomisation. Nous avons montré, d'une part, dans le premier chapitre que le processus de problématisation permet l'autonomisation épistémologique du savoir par l'accès à l'apodictique ; d'autre part, nous avons vu que la transformation des discours provoque une autonomisation du texte du savoir.

Il nous semble donc que la secondarisation pourrait être le versant langagier du processus de problématisation, c'est-à-dire que la construction de contraintes et de nécessités s'accompagne, sur le plan langagier, d'une secondarisation du discours. Il nous semble cependant que l'inverse n'est pas nécessaire, tout processus de secondarisation ne s'accompagne pas toujours, au niveau épistémique, d'une problématisation. Cette proposition rejoint en partie celle proposée par Orange-Ravachol et Triquet lorsqu'ils proposent que « *l'activité scientifique consisterait à passer du deuxième monde au troisième, avec ce que cela implique de transformation des récits, mais sans pouvoir totalement s'affranchir du deuxième monde dans le temps de l'expérience humaine* » (2007, p. 12). Mais nous précisons cette affirmation en considérant d'abord le travail scientifique comme une activité de problématisation, puis en ne faisant pas seulement référence aux textes de type narratif, mais à tous les textes de genre second. Cette relation étroite que nous établissons entre l'activité langagière et l'activité scientifique dans la fabrication du savoir scientifique, en particulier dans son objectivation, rejoint la position de Popper pour qui « *le langage devient indispensable comme médium de l'argumentation, de la discussion critique* » (Popper, 1991/1998, p. 221). Plus loin encore : « *il ne saurait exister de construction sans un contrôle critique permanent, et il ne saurait exister de critique si nos constructions ne sont pas mises sous une forme linguistique et traitées comme objets du troisième monde. Bien que le troisième monde ne s'identifie pas avec le monde des formes linguistiques, il naît avec le langage argumentatif : il est un sous-produit du langage* » (*ibid.*).

³¹ En cela, on pourrait examiner dans quelle mesure le troisième monde de Popper pourrait plus ou moins recouvrir la notion de culture dans le sens donné à ce terme par Leontiev (1976), puisque nous voyons un parallèle entre la thèse Popper d'un troisième monde comme produit inintentionnel de l'activité de l'homme et le processus de création d'une culture décrit par Brossard comme « *l'accumulation hors des individus d'objets œuvrés, d'outils, de règles d'action, de croyance, de connaissances* » (1998, p. 39).

Il nous reste à voir les conséquences didactiques de ces relations entre activité scientifique et activité langagière, compte tenu de la conception du langage que nous venons de présenter. Ce sera l'objet de la prochaine section.

3. Conséquence : langage et apprentissages scientifiques

L'objectif de cette section sera de tirer les conséquences, au niveau des apprentissages scolaires en particulier au niveau de l'apprentissage en science de la vie, des relations entre activités langagières et activités scientifiques. Nous partirons d'une description de pratiques de classes ordinaires reconstruites à partir d'informations issues de certains travaux de recherches que nous allons situer dans le cadre des recherches en didactiques des sciences qui s'intéressent aux relations entre langages et apprentissages scientifiques.

Les premiers travaux de l'INRP qui se sont intéressés à cette question suivent la rénovation de l'enseignement du français à l'école primaire dans les instructions officielles de 1972 (*Repères*, n°58, 1980). Ducancel précise que la communication orale et écrite est « *indispensable au progrès de la pensée scientifique et se confond souvent avec lui, en particulier par les échanges, les controverses, les “disputes” qu'elle permet, et par les formulations successives avec quoi se confondent les étapes de l'activité de résolution de problème* » (1980, p. 5). Ces recherches donnent lieu à la production du n° 117 de *Recherches pédagogiques* (1983) qui traite des relations entre éveil scientifique et modes de communication. Dès l'origine, Astolfi indique que les « *interaction entre langages et pensée sont très importantes* » (1986, p. 51) et les travaux publiés montrent le rôle de l'écrit et de l'oral comme outils dans la construction de savoirs scientifiques (*Aster*, n°6, 1988 ; Astolfi *et al.*, 1991 ; *Repères*, n°12, 1995 ; Astolfi *et al.*, 1997). Il faut attendre le développement des recherches en sciences du langage, « *qui sont passées d'une linguistique de l'énonciation à des modèles que l'on regroupe sous l'appellation de pragmatique* »³² (Peterfalvi & Jacobi, 2003, p. 3), pour que les didacticiens aient des outils pour analyser finement les liens entre langages et apprentissages scientifiques. L'augmentation des références à Vygotski au cours des années 1990, dans le cadre d'une approche sociocognitive, a orienté les recherches sur l'importance des interactions sociales dans le développement cognitif des élèves et des apprentissages (Schneeberger, 2002 ; *Aster*, n° 37, 2003 ; *Aster*, n° 38, 2004). C'est dans cette

³² « *Au lieu de se limiter à une analyse formelle de la langue ou des grammaires de discours, le projet de la pragmatique est double : davantage insérer les conditions sociales de production ou les caractéristiques individuelles des actants qui produisent des énoncés dans l'analyse ; tenir compte des rites et des interactions qui caractérisent la communication dans des situations écologiques qui sont enregistrées, puis fidèlement transcrites* » (Peterfalvi & Jacobi, 2003, p. 3).

filiation que notre recherche s'inscrit, même si elle se singularise par la focalisation proposée autour des relations entre activités langagières et problématisation.

3.1. Langage et activités scientifiques dans une séquence de classe ordinaire

La description, que nous allons présenter, du déroulement d'une séance de classe ordinaire en SVT en collège, s'appuie sur des données récoltées à partir de travaux de recherche³³. Ici, il ne s'agit :

- ni de stigmatiser ces pratiques ;
 - ni de nier les travaux de recherches conduits aussi bien du point de vue des apprentissages que de la formation des enseignants (pour une synthèse sur ces questions, voir Schneeberger, 2002) ;
 - ni de généraliser les résultats obtenus sur un petit nombre d'observations à l'ensemble des classes (du collège principalement) ;
- mais de pointer quelques questions qui pourront venir alimenter notre réflexion sur les liens entre activité langagière et apprentissages scientifiques.

Le déroulement des séances est régulièrement organisé autour d'« *activités [...] peu diversifiées, le plus souvent fondées sur la lecture et l'exploitation d'un document écrit, graphique ou numérique* » (France : MEN, 2007, p. 13) qui peuvent être associées à la réalisation d'expériences et d'activités pratiques. Les élèves doivent produire des écrits, correspondants à des écrits d'exposition (Vérin, 1988, p. 22-23 ; Astolfi et al., 1991), rédigés au terme d'un travail et répondant à des normes précises (comptes-rendus de résultats expérimentaux, réponses à des questions...). Ces écrits servent essentiellement à organiser leur activité ce qui conduit à « *la construction d'une connaissance contextualisée* » (Vérin, 2003, p. 8). La production est précédée d'une exposition orale du problème qui se traduit concrètement par une dizaine de minutes de questions, ouvertes au début puis de plus en plus fermées, au cours desquelles l'enseignant souhaite faire deviner³⁴ aux élèves

³³ Pour l'école élémentaire, voir Garcia-Debanc (1995, p. 80-81), Rebière (2000, p. 29-32) ; pour le collège, voir Feuillade D. et al. (2000) et France: MEN (2007).

³⁴ Les enseignants ne posent pas directement une question à partir de laquelle ils pourraient engager les élèves dans la construction d'un problème scientifique, comme « aujourd'hui on va essayer d'expliquer comment les aliments peuvent fournir des nutriments aux muscles », pour plusieurs raisons nous semble-t-il : d'une part, il y a une confusion épistémologique sur ce qu'est un problème scientifique, soulignée également par le rapport de l'inspection générale de SVT (France: MEN, 2007, p. 15 : « *La notion de problème scientifique est en général assez mal*

le problème scientifique qui va être traité au cours de la séance et qui légitime l'activité proposée. La séance se clôt par une phase, généralement courte (car le temps manque), de décontextualisation fortement guidée par l'enseignant : « *quelques élèves donnent leurs résultats et leurs réponses à l'enseignant, parfois des échanges entre élèves instaurent une courte discussion au cours de laquelle l'enseignant commente, corrige ou reformule ce qui est dit par les élèves, puis valide et institutionnalise une formulation. La phrase ou un court texte formalisant la connaissance générale est énoncée par l'enseignant et recopiée par les élèves* » (*ibid.*). Les écrits permettent alors de synthétiser les résultats des expériences et des observations et de les relier aux explications, ainsi les « *écrits permettent d'aller, au-delà des constats, à la recherche d'explications* » (Garcia-Debanç, 1995, p. 81). « *Dans certains cas, au pire, la progression du professeur est exclusivement constituée d'une succession d'activités qui masquent le problème scientifique posé et prive les élèves d'une vision synthétique des connaissances de base sur le sujet* » (France : MÉN, 2007, p. 18). Nous pouvons faire quelques remarques par rapport à cette séquence ordinaire, en particulier sur le lien entre activités langagières et activités scientifiques.

Les principales activités langagières mises en œuvre accompagnent l'action dans laquelle sont engagés les élèves. Les discours produits relèvent, selon la typologie présentée à la section 2.3., de discours de genre premier ou de genre second « normalisé » (compte rendu de résultats expérimentaux...). La très faible présence des écrits de travail ou écrits instrumentaux pour soi (Vérin, 1988, p. 20) (et nous pouvons étendre la remarque à d'autres modes langagiers : comme les oraux de travail ou des relations entre oral réflexif et écrit de travail) montre, selon Orange et al. (2001, p. 113), que l'enseignement scientifique ne donne pas encore toute sa place à la construction des problèmes. Ainsi, ces activités langagières restent très contextualisées et, faute d'une véritable activité de problématisation, les élèves ne peuvent percevoir « *ni le sens, ni la portée (de leur activité) au-delà du contexte* » (Vérin, 2003, p. 8). Il en résulte que l'activité langagière mise en œuvre n'a pour seule fonction que de désigner des objets et des actions, de les décrire et d'en rendre compte. Dans ce sens, le langage sert principalement à étiqueter les choses, il n'est pas considéré comme une activité interprétative qui permet d'aller des idées aux faits (Sutton, 1995). En cela, la conception du langage sous-jacente renvoie à une perspective représentationnelle telle qu'elle est définie par Bronckart où « *le langage servirait d'abord à traduire la logique du monde et/ou celle des opérations de pensée* » (1996, p. 87).

perçue ») et, d'autre part, les enseignants ont l'impression que s'ils explicitent ce que l'on va chercher, cela revient à donner la réponse aux élèves.

La décontextualisation qui accompagne la production du texte de la classe est « violente » dans le sens où, d'une part, le texte du savoir de la classe a perdu toute trace du processus qui a permis de le construire et, d'autre part, les élèves sont peu ou pas du tout associés à cette décontextualisation. En effet, comme le remarque Astolfi (2002), le dialogue pédagogique, dans ce type de séance, reste monologique puisque, même si les paroles des élèves et de l'enseignant alternent, les élèves ne font que « *compléter ce que l'enseignant a choisi de ne pas dire lui-même, afin de laisser les élèves le trouver* » (p. 18). C'est donc l'enseignant qui prend en charge l'évolution du texte du savoir.

Le texte explicatif qui sera à apprendre (discours de genre second), même s'il a généralement, en lui-même, une pertinence épistémologique, peut ainsi être considéré, du point de vue de l'élève, comme formel et dogmatique. Le langage (en particulier l'écrit), quant à lui, « *sert à exposer des savoirs stabilisés, la langue est perçue comme totalement transparente et l'appropriation du savoir se réduit à la recherche de l'information et à sa transcription* » (Rebière, 2000, p. 30).

Les pratiques mises en œuvre au cours de telle séance, en particulier au niveau langagier, n'ont rien à voir avec les pratiques des chercheurs dont nous avons décrit la structure et la fonction à la section 1. Cela pourrait s'admettre, cependant, ces pratiques contribuent à renforcer un rapport généralisé au langage, assez largement répandu, selon lequel le langage est redondant par rapport au monde, sert uniquement à désigner des objets, à verbaliser les actions faites, dans un rapport très étroit au réel et au concret. Comme, de plus, « *la connaissance scientifique se dénature lorsqu'elle efface ou oublie les conditions de sa propre production* » (Roqueplo, 1974, p. 89), la conception de la science que construisent les élèves risque d'être fort éloignée de l'activité scientifique telle qu'elle se fait dans les laboratoires. Ces remarques rejoignent les analyses menées par des chercheurs anglais qui ont montré que les activités généralement proposées aux élèves en classe de sciences ne leur permettent pas de développer des compétences langagières qui favoriseraient leur compréhension de la dynamique de la construction du savoir scientifique (Driver et al., 2000, p. 308).

Suite à ces différentes remarques, il convient de nous interroger sur les liens entre activités langagières et apprentissages scientifiques qui ne sont pas aussi simples à saisir que ce que l'on pourrait le croire.

3.2. Langage et apprentissages scientifiques à la lumière de la théorie vygotkienne des apprentissages scolaires

Pour tâcher d'expliciter les liens entre activités langagières et apprentissages scientifiques, il convient de présenter le cadre théorique qui va nous permettre de rendre compte de ces liens. Il s'agit, pour le dire vite, d'une conception constructiviste des apprentissages que nous ancrons fortement à la théorie historico-culturelle de Vygotski, même s'il convient de noter, dès à présent, qu'en tant que didacticien des sciences nous nous intéressons à la construction d'une approche scientifique de l'enseignement-apprentissage des sciences de la vie en contexte scolaire alors que Vygotski cherche à concevoir une théorie du développement humain. Cependant, et c'est là, pour nous, l'apport important de Vygotski, il accorde une place déterminante aux apprentissages scolaires, en particulier aux apprentissages scientifiques, dans le développement³⁵. De plus, nous tenterons de voir, au fil de la présentation du travail de Vygotski, les convergences et les divergences entre ses conceptions et celles de Bachelard, épistémologue « emblématique » de notre positionnement épistémologique.

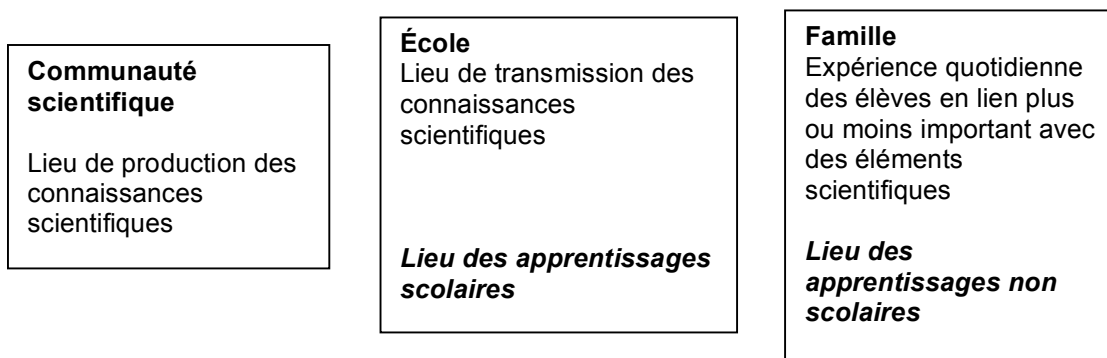
3.2.1. Une conception constructiviste des apprentissages

La zone de convergence entre les travaux menés dans le cadre des recherches en didactique des sciences et les travaux de Vygotski concerne la dimension doublement constructive des apprentissages. D'une part, les savoirs scientifiques sont construits au sein de la communauté scientifique et ils ont, en cela, une dimension historique ; d'autre part, leur appropriation par les élèves ne peut qu'être active. Mais ces savoirs sont construits hors du champ de l'expérience quotidienne des élèves. Ainsi, les savoirs scientifiques sont disponibles au sein de la culture et la fonction de l'école n'est pas de refaire construire ces savoirs aux élèves, mais d'en assurer la transmission, de permettre aux élèves de « *s'appropriier par des sortes de "raccourcis didactiques" les contenus culturels* » (Brossard, 1998, p. 39). Ainsi la conceptualisation est la question centrale des apprentissages scientifiques à l'école

³⁵ Brossard note qu'il conviendrait de bien distinguer les questions d'apprentissage de celles de développement souvent prises l'une pour l'autre dans les travaux des didacticiens (Brossard, 2004).

(Vergnaud, 1989). La figure 2-2 récapitule ces différents espaces et leur fonction, dont l'existence est liée au développement de la culture d'écrit.

Figure 2-2. Différenciation des lieux dans une société d'écrit



3.2.2. Apprentissages scolaires versus apprentissages non scolaires

Il convient, avant de poursuivre, de spécifier ce qui caractérise un apprentissage scolaire et de le comparer avec les situations non formelles d'apprentissages tels qu'ils peuvent avoir lieu au sein de la famille par exemple. Le tableau 2-8 récapitule ces principales différences.

Tableau 2-8. Comparaison entre les apprentissages non scolaires et les apprentissages scolaires

	<i>Apprentissages non-scolaires</i>	<i>Apprentissages scolaires</i>
Programmation	Enfant apprend en « <i>suivant son propre programme</i> » (Vygotski, 1935/1995, p. 35) ³⁶	Il existe un temps social réservé à ces apprentissages (le temps des études, Verret, 1975). L'ordre de transmission des savoirs est déterminé par les contraintes intrinsèques aux savoirs et non par rapport à des facteurs externes aux savoirs (Vygotski, 1934/1997, p. 316).
Type de savoir appris	Savoir moteurs, sociaux, langagiers	Savoirs culturels hautement élaborés qui ont une forte cohérence interne
Situation où ces savoirs sont appris	Apprentissage est lié à des situations d'action dans le plein des activités quotidiennes	Apprentissage se fait dans des situations formelles d'apprentissage, où l'urgence de l'action est suspendue
Finalité des apprentissages	Produire une transformation d'un état du monde. Les outils mis à disposition des enfants sont éprouvés en fonction de leur efficacité dans l'action.	L'acquisition de savoirs Le professeur va demander à l'élève de travailler selon une logique autre que la logique quotidienne : le travail porte sur l'outil lui-même, outil désinséré de sa situation d'utilisation.

Lorsque nous faisons référence, dans le tableau 2-8, à la notion d'outil, il s'agit des outils tels qu'ils sont définis par Vygotski, c'est-à-dire soit les outils techniques par lesquels les hommes peuvent contrôler la nature, soit comme des outils psychologiques (ensemble des formes ou moyens communicatifs dont le langage) par lesquels ils peuvent contrôler leur propre comportement. Ces outils ont subi un développement culturel et, en situation d'enseignement-apprentissage, ce sont ces outils que les élèves vont devoir, non pas reconstruire, mais apprendre à utiliser. En cela, le développement ontologique permet la fusion du développement biologique et du développement culturel.

³⁶ Rochex (1995) précise qu'il s'agit des intérêts socialement construits au cours des apprentissages non formels et non d'une référence au programme génétique.

Il convient également de noter que certains auteurs ont jugé la distinction faite par Vygotski entre les apprentissages scolaires et les apprentissages au sein de la famille comme trop marquée. Ainsi, Vergnaud précise que « *d'une part l'école fait partie à certains égards du champ d'expérience habituel de l'enfant, et d'autre part une partie des choses que l'enfant apprend dans son milieu familial de vie fait l'objet d'actions intentionnelles des parents parfois aussi systématiques que celles de l'enseignant* » (1989, p. 112). Ce qui semble important à retenir dans la distinction proposée par Vygotski, c'est la nature des savoirs transmis à l'école. Ce sont des concepts scientifiques transposés³⁷ qui sont transmis et qui sont très différents des concepts quotidiens. Ce sont les relations entre concepts scientifiques transposés et concepts quotidiens que nous allons maintenant examiner.

3.2.3. Concepts scientifiques et concepts quotidiens

La distinction entre concepts scientifiques et concepts quotidiens, comme niveaux de généralisation différents (les concepts scientifiques sont organisés en système), entretenant entre eux des rapports dialectiques, est centrale dans la théorie de Vygotski (Brossard, 2004, p. 203). C'est à partir de cette distinction et de la relation dialectique entre concepts quotidiens et concepts scientifiques, par exemple, que Vygotski propose une interprétation différente de celle de Piaget, de la prise de conscience : « *les concepts scientifiques ouvrent la porte à la prise de conscience* » (Vygotski, 1937/1998, p. 317)³⁸.

Ainsi, les concepts scientifiques sont en rupture avec les concepts quotidiens, d'une part, du fait qu'ils sont organisés en système et, d'autre part, puisqu'ils sont le produit d'une culture et se sont donc formés hors du champ de l'expérience des élèves. Cette rupture qui tient à la structure des concepts et à leur contexte de production nous semble compatible avec la thèse de rupture épistémologique de

³⁷ Nous reprenons ce terme à Brossard (2004, p. 201), même si le concept de transposition didactique de Verret (1975), introduit dans le champ de la didactique par Chevallard (1985), était ignoré de Vygotski.

³⁸ Selon Vygotski, Piaget commet deux erreurs principales qui ne lui permettent pas de réussir à penser la prise de conscience. La première concerne le fait que Piaget s'intéresse uniquement aux concepts spontanés des enfants et donc à des concepts qui ne font jamais partie d'un système. Cela l'empêche, selon Vygotski, de prendre en compte les tensions qui peuvent exister dans l'enfant entre plusieurs niveaux de généralisation. La seconde correspond à l'idée de Piaget selon laquelle les concepts spontanés et les concepts non spontanés suivent le même type de développement.

Bachelard³⁹ entre les connaissances communes et connaissances scientifiques (titre du chapitre VI du *Rationalisme appliqué*), même si on n'en trouve pas de trace dans le travail de Vygotski. Cette organisation en système est également mise en avant par Bachelard lorsque celui-ci indique qu'« *il n'y a pas de connaissance par juxtaposition. Il faut toujours qu'une connaissance ait une valeur d'organisation ou plus exactement de réorganisation* » (1949/1998, p. 65). Par contre, là où Bachelard voit une rupture : « *la connaissance vulgaire ne peut évoluer* » (*ibid.*, p. 107) et une cohabitation définitive des connaissances communes et des connaissances scientifiques, même chez le chercheur qui « *est finalement un homme pourvu de deux comportements* » (*ibid.*, p. 104), Vygotski envisage un rapport dialectique (rupture et continuité) entre les concepts scientifiques et les concepts quotidiens qui ne se représentent pas comme des états statiques, mais comme deux pôles dynamiques.

Nous commencerons par indiquer ce qui spécifie les concepts scientifiques et les concepts quotidiens avant de mettre en évidence les rapports dialectiques qu'ils entretiennent.

Les caractéristiques des concepts quotidiens et des concepts scientifiques sont présentées dans le tableau 2-9.

³⁹ Même si la posture rationaliste de Vygotski n'est pas incompatible avec le rationalisme bachelardien, les centres d'intérêt de Vygotski et de Bachelard sont différents : alors que Bachelard ne s'intéresse qu'indirectement aux questions d'apprentissage, Vygotski s'intéresse essentiellement aux questions d'apprentissage et de développement dans le cadre scolaire.

Tableau 2-9. Concepts quotidiens et concepts scientifiques : comparaison (d'après Vygotski, 1937/1998)

Les numéros qui suivent correspondent aux numéros des pages où les questions sont traitées

	Concepts quotidiens	Concepts scientifiques
Contexte de formation	Expérience quotidienne de l'enfant (292, 371)	Situation d'enseignement-apprentissage formelle. Ce sont dans ces situations que les élèves sont confrontés aux savoirs scientifiques historiquement produits (291)
Mode de formation	Ils sont liés à des opérations de pensée non conscientes, au sens où l'attention n'est pas portée sur ces opérations de pensée, pour organiser l'expérience quotidienne (317, 364-365)	Ils naissent en collaboration entre le professeur et l'élève. Le prof assure le déplacement des questions spontanées des élèves vers un questionnement pertinent par rapport aux domaines scientifiques étudiés (290, 355-356, 364-365)
Caractéristiques	Ils ont une portée locale, ils sont en relation instable et partielle entre eux (275, 318) Difficile de conduire un raisonnement (une inférence réglée nécessite de pouvoir subsumer un concept sous un autre concept) (319)	Les concepts scientifiques transposés sont organisés en système. Ils constituent un ensemble organisé de gestes intellectuels rigoureusement définis portant sur un contenu spécifique, collectivement élaborés, contrôlés, mis à l'épreuve... (318) Comme ils sont organisés en système, ils permettent de conduire des raisonnements ⁴⁰ (318-320, 381-383, 403)
Trajectoire	Les concepts quotidiens se développent (280, 371-373)	Les concepts scientifiques transposés ne sont pas acquis en une seule fois. Ils se développent de façon « souterraine » (280, 293, 348, 371-373)

Ils convient de noter qu'aussi bien les concepts quotidiens que les concepts scientifiques transposés se développent et que, dans ce développement, les

⁴⁰ « Être sensible à la contradiction, savoir non pas juxtaposer les jugements mais en faire la synthèse logique, posséder la capacité de déduction, tout cela n'est possible que dans un système déterminé de rapports entre les concepts » (Vygotski, 1937/1998, p. 319-320).

apprentissages scolaires jouent un rôle déterminant ; c'est ce que nous allons essayer d'expliciter. Nous prenons comme exemple une séquence d'enseignement-apprentissage dans une classe de troisième qui sera étudiée ultérieurement (chapitre 4). Dans un premier temps, le professeur procède à une évaluation-diagnostique. Il demande aux élèves d'expliquer comment les aliments peuvent assurer l'approvisionnement des muscles en matière. Les élèves peuvent s'engager dans la production d'une explication à partir de concepts quotidiens mobilisables et de concepts scientifiques préalablement construits. Au cours de la séquence d'enseignement-apprentissage, le concept scientifique de nutrition, transposé pour des élèves de cycle 3, de cinquième ou de troisième, est introduit. Ainsi, les élèves vont pouvoir donner du sens au concept scientifique transposé sur la base des concepts quotidiens réélaborés au cours de la séance, grâce au travail de formulation écrite et de débat scientifique. Plusieurs remarques sur ce premier point.

C'est en raison de cette relation (les concepts quotidiens sont une condition de l'appropriation des concepts scientifiques) que nous pouvons parler d'un premier niveau de continuité entre les concepts scientifiques transposés et les concepts quotidiens.

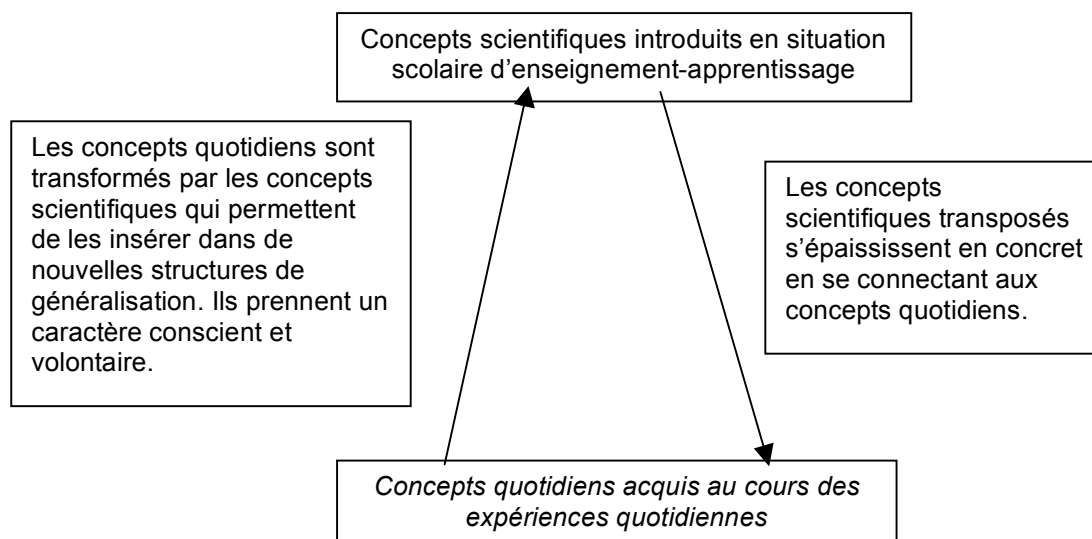
Au moment où les concepts scientifiques sont introduits par le professeur, il y a cohabitation, dans la tête de l'élève, de deux réseaux qui renvoient au réseau des concepts quotidiens et au réseau des concepts scientifiques. Cette tension, entre les deux types de réseaux (tension qui est au cœur des situations d'enseignement-apprentissage et qui les rend difficiles), ne se traduit pas, pour Vygotski, par une superposition des deux types de réseau. Ainsi, le réseau des concepts scientifiques et celui des concepts quotidiens se développent en se niant dialectiquement⁴¹, la rupture correspondant au dépassement / à la négation des concepts quotidiens lors de l'acquisition des concepts scientifiques. Mais à partir du moment où les concepts scientifiques ont été introduits, Vygotski indique que ces derniers, comme les concepts quotidiens, vont subir un développement opposé : « *le concept spontané de l'enfant se développe de bas en haut, des propriétés les plus élémentaires et inférieures aux propriétés supérieures, alors que les concepts scientifiques se développent de haut en bas, des propriétés plus complexes et supérieures aux propriétés plus élémentaires et inférieures* » (ibid., p. 371).

Essayons de comprendre ce double mouvement opposé. Lors de l'apprentissage, les concepts scientifiques sont peu opératoires du fait de leur pauvreté en détermination concrète ; ils ont donc besoin de prendre de l'épaisseur, sinon, s'ils ne

⁴¹ Lorsque apparaît un niveau de développement supérieur « *le précédent ne disparaît pas mais s'élève en un nouveau, se nie dialectiquement en lui dans lequel il passe et subsiste* » (Vygotski, 1931/1997, traduction proposée par L. Sève)

sont jamais utilisés, ils risquent de se fossiliser et de dégénérer (Brossard, 2004, p. 193). C'est en venant se connecter aux concepts quotidiens que les concepts scientifiques vont pouvoir se lester en détermination concrète. C'est pourquoi Vygotski parle de développement du haut vers le bas. En retour, les concepts scientifiques ouvrent la voix au développement des concepts spontanés, en les happant vers le haut. Ceux-ci suivent un développement du bas vers le haut. Les concepts scientifiques qui n'existent qu'au sein d'un système et, en cela, ils correspondent à un niveau de généralisation supérieur à celui des concepts quotidiens. Lorsque les élèves accèdent à ce niveau de généralisation supérieur, celui-ci ne provoque pas la suppression des concepts quotidiens, mais permet aux élèves de les considérer autrement, au sein d'un système plus général, c'est la sursomption : ils sont conservés mais transformés dans la conceptualisation devenue scientifique. Cela permet de voir les concepts quotidiens d'une autre façon, ce qui permet « *d'acquérir d'autres possibilités d'action par rapport à eux* » (Vygotski, 1934/1997, p. 316-317). Nous avons précédemment indiqué que le concept quotidien est non conscient dans le sens où « *l'attention qu'il implique est toujours dirigée sur l'objet qu'il représente et non sur l'acte même de la pensée qu'il appréhende* » (*ibid.*, p. 317), et le concept scientifique permet de déplacer l'attention de l'objet que le concept représente à l'acte de pensée. Ainsi, « *cet acte de conscience, dont l'objet est l'activité même de la conscience* » (*ibid.*, p. 316) correspond, pour Vygotski, à la prise de conscience. C'est par la prise de conscience que Vygotski lie les apprentissages scolaires au développement, puisque l'appropriation, par l'élève à l'école, des concepts scientifiques provoque une transformation des concepts quotidiens qui se trouvent insérés dans des savoirs plus généraux. Vygotski affirme que « *l'apprentissage scolaire peut non seulement suivre le développement, non seulement marcher du même pas que lui, mais il peut le devancer, le faisant progresser et suscitant en lui de nouvelles formations* » (*ibid.*, p. 330-331). La figure 2-3 représente ces relations.

Figure 2-3. Relations dialectiques entre concepts quotidiens et concepts scientifiques



Cette approche dialectique de Vygotski ne nous semble pas si éloignée de certaines idées développées par Bachelard, notamment lorsqu'il développe l'idée de profil épistémologique dans *La philosophie du non* (1940)⁴². Bachelard (*ibid.*) montre qu'à propos d'un concept bien précis (en l'occurrence celui de masse), chez un même individu, il peut y avoir plusieurs niveaux de conceptualisation⁴³ différents, ce qui pourrait permettre de rendre compte du développement souterrain des réseaux des concepts scientifiques et quotidiens de Vygotski⁴⁴.

⁴² Même si Vygotski ne souscrirait pas à l'accent mis par Bachelard sur le concept de rupture, car on ne retrouve pas l'idée d'erreur première chez Vygotski.

⁴³ Fabre indique ainsi, à partir de cette idée de profil épistémologique, que « toute confession de sa culture scientifique livre donc les diverses couches géologiques, des plus archaïques au plus épurées, où viennent se sédimenter de multiples niveaux de conceptualisation » (1995, p. 70-71).

⁴⁴ Il convient de noter également que, du point de vue des études historiques, Canguilhem adopte une position différente de celle de Bachelard. Canguilhem s'intéresse plus aux filiations entre les concepts (l'histoire des sciences doit être « une histoire de la formation, de la déformation et de la rectification des concepts scientifiques » Canguilhem, 1968/1989, p. 235) qu'aux ruptures entre les théories. Ainsi il souligne que « dans une trame théorique certains fils peuvent être tout neufs alors que d'autres sont tirés d'ancienne texture. Les révolutions copernicienne et galiléenne ne se sont pas faites sans conservation d'héritage » (Canguilhem, 1981, p. 25). Il explique cette position par la spécificité de ses objets d'étude (*ibid.*, p. 24) qui diffèrent de la physique mathématique de Bachelard. De ce point de vue, Braustein souligne une position commune entre Canguilhem et Fleck (2003, p. 419).

Pour conclure sur cette question et comprendre les situations d'enseignement-apprentissage et les apprentissages des élèves, il nous semble pertinent de prendre en compte d'une part, la rupture épistémologique entre les concepts scientifiques et les concepts quotidiens (quand elle existe) et, d'autre part, la continuité psychologique qui permet, dans l'esprit des élèves, le développement de ces concepts⁴⁵. Il nous reste à examiner deux autres thèses de Vygotski concernant les apprentissages scolaires qui font système avec cette distinction entre concepts quotidiens et concepts scientifiques : celle de zone de développement prochain et du passage de l'interpsychique à l'intrapsychique.

Nous avons indiqué que l'assimilation des concepts scientifiques à l'école ouvre la voie aux développements de ces derniers mais également des concepts quotidiens. Ce lien entre ces deux voies du développement permet d'unir « *la zone prochaine de développement et le niveau présent de développement* » (*ibid.*, p. 373). Cela correspond à ce que Brossard (2002) appelle la face interne, non directement visible, de la zone de développement prochain. La face externe, visible, correspond à l'ensemble des activités que l'élève peut réaliser avec l'aide d'un adulte, sans en être capable seul, ainsi la « *zone prochaine de développement, qui définit ce domaine de passage accessible à l'enfant, est précisément l'élément le plus déterminant pour l'apprentissage et le développement* » (Vygotski, 1934/1997, p. 355). Le concept de zone de développement prochain nous permet de mettre en avant un point laissé, jusque-là, dans l'ombre, mais qui est essentiel dans la théorie de Vygotski, l'idée que si l'on veut penser correctement ce qu'est un apprentissage scientifique, il faut admettre l'existence d'une conceptualisation à plusieurs. C'est à partir de là que nous allons pouvoir mettre en avant l'importance et le rôle des activités langagières dans les apprentissages scientifiques.

⁴⁵ Johsua propose lui que « *“concepts quotidiens” et “concepts scientifiques” ne sont pas deux mondes disjoints. Ce n'est que dans la “mise en texte” des savoirs que les “concepts scientifiques” apparaissent avec une rationalité propre. Lors de leur élaboration (et encore plus lors de leur apprentissage) il n'y a pas de différence absolue avec le fonctionnement des “concepts quotidiens”. La différence est fonctionnelle (les critères de validation sont en partie différents) et institutionnelle (il y a imposition d'une logique externe aux apprenants* » (1998, p. 33). Cette formulation nous semble pourtant minimiser de façon trop importante la distinction entre concepts scientifiques transposés et concepts quotidiens qui, même en situation scolaire, ont des niveaux de généralités très différents et qui vont se développer de façon différente.

3.2.4. Les apprentissages des concepts scientifiques se font en collaboration avec autrui puis sont reconstruits pour soi-même

Nous avons montré, à la section précédente, en quoi l'introduction en situation d'enseignement-apprentissage des concepts scientifiques issus du développement socio-historique permet une transformation des activités psychiques élémentaires des élèves constituées au contact des expériences quotidiennes. Il convient maintenant de comprendre le rôle que va prendre le langage au moment où ces concepts scientifiques vont être introduits en contexte scolaire. Pour ce faire, Vygotski mobilise une autre loi développementale déterminante pour comprendre les processus d'apprentissage : la loi développementale du passage de l'interpsychique à l'intrapsychique. Il la formule de la façon suivante : « *chaque fonction psychique apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord comme activité collective, sociale et donc comme fonction interpsychique ; puis elle intervient une deuxième fois comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique* » (Vygotski, 1933/1985, p. 111). Ainsi, le processus d'appropriation d'un concept scientifique provient d'une reconstruction pour soi, qui n'est pas une reproduction à l'identique (Brossard indique que « *l'activité en même temps qu'elle s'intériorise, se réorganise* » [2004, p. 104]), de l'action effectuée dans le champ de l'intersubjectivité.

Nous avons déjà indiqué que les concepts scientifiques ont une signification propre dans le sens où ils sont organisés en système (ils sont en relation avec d'autres concepts, ils correspondent à un niveau particulier de généralisation) et où ils ont été élaborés au sein d'une sphère d'activité particulière, la communauté scientifique, qui leur donne une certaine forme de rationalité. Lorsque l'enseignant introduit un concept scientifique, les élèves ne peuvent l'appréhender que par rapport aux concepts quotidiens proches disponibles ou par rapport à d'autres concepts scientifiques déjà disponibles. La signification donnée au concept scientifique par les élèves est donc différente de celle que lui attribue le professeur.

S'ouvre alors, sous le guidage du professeur, un double travail langagier :

- celui qui va permettre l'appropriation par l'élève du concept scientifique et qui passe nécessairement par un travail dialogique tel que le définit Brossard, c'est-à-dire par « *la création d'un univers intersubjectif, univers fait de semi-compréhension, de tensions, de décalages, de reprises et de renégociations, de contrats tacites en perpétuelle renégociation* » (Brossard, 2004, p. 34). Ce travail de reformulation dure jusqu'à ce que l'enseignant accepte un compromis entre ce que disent les élèves du concept scientifique et ce qu'il voulait qu'ils

en sachent. Ce travail langagier est caractéristique de l'activité de penser des élèves (mais également de l'enseignant). En cela, nous établissons un lien entre pensée et langage qui n'est ni de l'ordre de l'équivalence, ni de la disjonction complète, mais dans les passages continus entre ce que l'on veut dire et ce que l'on dit⁴⁶. Dans un premier temps, ce travail de conceptualisation est réalisé à plusieurs et il s'agit d'un travail sur le concept en lui-même (son organisation interne, les règles qui président à son utilisation...);

- parallèlement à ce travail sur le concept en lui-même et pour éviter sa réification, il convient également de permettre aux élèves de construire le contexte social à l'intérieur duquel ces outils fonctionnent. En effet, comme le précise Bernié, il est « *impossible de séparer la construction des connaissances scientifiques des réseaux de sociabilité au sein desquels la démarche de preuves et ses conditions matérielles, ses instruments, sont définis, légitimés* » (2002, p. 78). Il convient donc de permettre à l'élève de s'instancier comme énonciateur légitime au sein d'une communauté nouvelle. Selon Brossard (2004, p. 177, 187), ce changement de position énonciative est un puissant moteur de transformation cognitive, mais non le seul.

C'est tout ce travail de conceptualisation collaborative qui pourra ensuite être intériorisé. Cela nous permet de mettre en évidence que l'activité langagière dans laquelle est engagé l'élève en situation d'enseignement-apprentissage est déterminante pour comprendre les apprentissages réalisés par ces élèves.

3.3. Conclusion : la question de la transposition didactique

Forquin rappelle que la transmission des savoirs à l'école nécessite une sélection des éléments de la culture qui méritent d'être enseignés et « *une réélaboration des contenus de culture destinés à être transmis aux générations nouvelles* » (2004, p. 6). C'est ce dernier processus que Verret appelle transposition didactique pour indiquer les transformations liées à une « *transmission bureaucratique du savoir* » (1975). Ce concept de transposition didactique n'a pas pour objet de décrire un ensemble de transformations à faire subir au savoir pour pouvoir l'enseigner, mais de caractériser

⁴⁶ Refusant à la fois une attitude intellectualiste, pour laquelle certaines activités de penser pourraient se passer d'une mise en forme langagière, et une attitude empiriste, pour laquelle langage et pensée sont équivalents, Vygotski « *va s'efforcer de mettre à jour l'unité dialectique du mot et de la pensée, c'est-à-dire le lien interne et dynamique entre ces deux pôles* » (Brossard, 2004, p. 42).

les transformations nécessairement subies par le savoir lorsqu'il est enseigné. Il s'agit donc d'un outil critique qui doit permettre de mettre sous surveillance épistémologique (Arsac, 1989) le passage des savoirs des communautés où ils sont produits à la classe.

Verret précise que la transposition didactique provoque, d'une part, une désyncrétisation du savoir, sa dépersonnalisation et une programmation des apprentissages et, d'autre part, cela « *suppose quant à la transmission : la définition explicite, en compréhension et en extension du savoir à transmettre* » et « *le contrôle réglé des apprentissages* » (1975). Considérons les transformations subies par le savoir au cours du processus de transposition didactique à l'éclairage de la conception des apprentissages présentée.

La question de la programmation des apprentissages est peu problématique pour l'enseignant puisqu'elle est en partie prise en charge par l'institution via les programmes scolaires. Par contre, la désyncrétisation et la dépersonnalisation du savoir semblent, selon nous, être source de difficultés didactiques importantes. En effet, nous avons particulièrement insisté sur le fait que les concepts scientifiques sont organisés en système. Or, c'est précisément le fait qu'ils fassent système qui va permettre, d'une part, aux élèves de les mobiliser dans des raisonnements (c'est via le jeu entre les différents niveaux de généralisation des concepts que les élèves vont pouvoir conduire des inférences) et d'autre part, de permettre le développement. La perte des liens entre différents concepts pourrait être responsable des difficultés rencontrées par les élèves : ainsi le découpage de la fonction de nutrition chez l'homme en chapitres sur la digestion, la respiration et la circulation est, pour partie, responsable de la difficulté que les élèves ont à construire une conception intégrée de la nutrition (Banet & Nunez, 1997, p. 1171-1172). Enfin, la dépersonnalisation du savoir a également plusieurs conséquences problématiques. Le savoir scientifique est extrait de son contexte socio-historique de production et il a généralement perdu toute trace des controverses qui ont présidé à sa naissance. Selon Develay (1987), c'est une raison du dogmatisme du savoir scientifique.

Ainsi, lors de la transposition didactique, le savoir scientifique subit un double mouvement de décontextualisation-recontextualisation puisqu'il est enseigné en situation scolaire. C'est à « *cette nécessaire construction à l'école de nouveaux rôles sociaux, à articuler avec de nouveaux savoir-faire, informés par une référence en actes aux pratiques sociales et langagières des communautés de référence* » (Bernié, 2002, p. 82) que répond la notion de communauté discursive telle qu'elle est définie

par Bernié⁴⁷. En effet, cette notion vise à permettre de transposer « *les conditions sociales d'élaboration des savoirs et d'émergence des œuvres* » (*ibid.*, p. 78). Ainsi, dans l'exemple de l'activité scientifique décrite *supra* et si l'on se positionne dans un cadre constructiviste, la transposition didactique ne peut se contenter de permettre aux élèves d'apprendre les mises en textes des explications scientifiques validées par la communauté scientifique. Il ne peut pas, non plus, s'agir de les entraîner à la maîtrise des genres discursifs en vigueur dans la communauté scientifique de référence.

Un des objectifs du travail, en cours de science, pourrait être de construire une communauté discursive scientifique scolaire constituée autour de l'engagement des élèves dans la production d'une explication sur un phénomène biologique. Les élèves seraient alors conduits à développer une activité authentique de problématisation autour de moments de discussion collaborative en classe qui peuvent prendre la forme de débat scientifique tels qu'ils sont définis par Orange (2000). Ces moments d'oraux réflexifs (Jaubert & Rebière, 2002) articulés avec des écrits de travail, sur le mode de la controverse scientifique permettent :

- de construire progressivement des objets en discussion, ce qui permet une objectivation des contenus de pensée et, pour les productions écrites, une stabilisation de ces éléments qui pourront alors être soumis à une analyse (Goody, 1979) ;
- de tenter des argumentations qui peuvent ensuite être débattues et critiquées. Le débat scientifique permet de faire vivre dans l'espace intersubjectif la surveillance intellectuelle de soi (Bachelard, 1949) qui pourra ensuite être intériorisée, dans une perspective développementale. Certaines argumentations pourront être validées alors que d'autres devront encore être mises à l'épreuve. Ces activités doivent permettre *in fine* la construction d'un problème scientifique et d'explications possibles.
- de mettre à l'épreuve ces explications possibles lors de moments d'expérimentation, de recherche documentaire... L'introduction des tableaux, graphiques, textes scientifiques... issus d'une transposition des produits culturels de la discipline confronte les élèves aux outils spécifiques du champ disciplinaire et aux formes sémiotiques en vigueur au sein de la communauté scientifique de référence.

On retrouve la tension dialectique déjà soulignée de la transposition de la mise en texte des savoirs. En effet, dans une pratique scientifique professionnelle, il préexiste un texte auquel l'activité scientifique répond d'une façon ou d'une autre. Dans le cas

⁴⁷ Nous pouvons faire des rapprochements entre la notion de collectif de pensée de Fleck (1935/2008) et celle de communauté discursive proposée par Bernié.

de la pratique de classe, même s'il peut exister un texte préexistant (les textes de savoir construits dans les classes antérieures), le texte que l'enseignant fait construire n'est pas connu par les élèves et les situations d'enseignement-apprentissage doivent permettre une confrontation des élèves à ce texte de savoir. De plus, dans la pratique de classe, le texte du savoir auquel les élèves doivent accéder est déterminé par l'institution avant le début de l'apprentissage. Quel est le but de l'enseignant dans ces conditions :

- fournir le texte du savoir et permettre aux élèves de le comprendre ? ;
- faire reconstruire un texte de savoir aux élèves le plus proche possible du texte du programme ? ;

Quelle place, dans ce texte de savoir, pour les traces du processus qui a conduit à ce texte, car si les traces du travail sont trop importantes, le texte reste un texte singulier qui n'a pas le caractère de généralité d'un texte scientifique ?

Quelles que soient les difficultés posées par le processus de mise en texte, les différentes activités doivent mener à la production d'un texte de savoir institutionnalisé qui s'inscrit dans un genre discursif reconnu par la communauté scientifique. Compte tenu de l'analyse de l'activité scientifique présentée précédemment, les textes produits doivent, d'une part, être autoréférentiel et, d'autre part, garder la trace des problèmes auxquels ils sont une réponse. En cela, il s'agit bien « *de remettre sur ses pieds communicationnels la forme scolaire* » (Bernié, 1998, p. 185). Du point de vue épistémologique, l'activité des élèves peut être analysée comme un processus de problématisation tel que nous l'avons présenté chapitre 1. Le travail cognitif et langagier, lui, peut être interprété comme un processus de « *secondarisation* » tel qu'il est défini par Jaubert et Rebière. Il s'agit donc de savoir si « *dans les ébauches d'appropriation d'outils culturels (dont linguistique), le nouveau discours qu'il élabore, via des formes plus conventionnelles, transforme le déjà-là et témoigne de son déplacement énonciatif, d'une modification de sa compréhension du monde et de l'action dans laquelle il est engagé* » (2002, p. 168). Nous avons montré, à la section 2.4., en quoi la secondarisation pouvait correspondre au volet langagier du processus d'autonomisation des explications scientifiques dans le cadre d'une activité de problématisation scientifique. Nous pensons que nous pouvons transférer ces relations au niveau du fonctionnement de la communauté discursive scolaire.

Dans ce sens, les recherches de Jaubert ont permis d'identifier différentes fonctions du travail du langage dans des situations d'enseignement-apprentissage. Elles sont précisées dans le tableau 2-10.

Tableau 2-10. Les fonctions du travail du langage en sciences (Jaubert, 2000)

<i>L'activité langagière comme moyen de « réaliser l'objet »</i>	<i>L'activité langagière comme moyen de s'inscrire et d'agir dans le champ de la controverse</i>	<i>L'activité langagière comme moyen de reconfigurer l'activité humaine pour socialiser et stabiliser des énoncés de savoir</i>
* Mettre à distance l'expérience et construire un espace problème	* Reconnaître le discours de l'autre	* Reconfigurer l'activité humaine (La démarche scientifique est reconstruite <i>a posteriori</i>)
* Recourir systématiquement aux références	* Convaincre les pairs et négocier ce qui fait preuve	* Socialiser des énoncés
* Réfléchir et proposer un point de vue nouveau (usage de comparaisons, usage de modalisations)	La pratique scientifique génère ses genres discursifs propres et dans le même temps, ces genres discursifs organisent, structurent fortement l'objet de savoir ⁴⁸	* Stabiliser des énoncés de savoir

Ces différentes fonctions sont importantes pour nous qui souhaitons comprendre le processus de problématisation à l'œuvre dans les débats scientifiques à l'école, car elles nous orientent vers des outils d'analyse de l'activité langagière.

⁴⁸ Ce qui ne veut pas dire pour autant qu'il ne s'agit que d'un objet linguistique.

4. Des outils langagiers pour analyser le processus de problématisation

Comme le précise Popper, « *les plus importantes des créations humaines, celles qui ont les effets de rétroaction les plus importants sur nous-même et particulièrement sur nos cerveaux, ce sont les fonctions supérieures du langage humain : plus particulièrement, la fonction descriptive et la fonction argumentative* » (1991/1998, p. 198-199). Popper précise plus loin que la fonction argumentative présuppose la fonction descriptive puisque les arguments portent sur des descriptions. Ce sont donc principalement sur ces points que devront porter nos analyses, c'est-à-dire la construction des objets scientifiques (à relier à la fonction descriptive de Popper) sur lesquels porteront les argumentations des élèves et ce pour plusieurs raisons :

- comme le précise Fabre, nous pouvons considérer la problématisation comme « *une activité argumentative* » (1999, p. 199) suivant Bachelard qui indique que « *le processus de rectification discursive* » « *paraît être le processus fondamental de la connaissance objective* » (1938/1993, p. 242) ;
- Popper rappelle que « *parmi les fonctions du langage qui ont un rôle spécifique d'humanisation, la fonction argumentative (ou critique) me semble être la plus importante : elle est la base de ce qu'on appelle la rationalité humaine* » (1991/1998, p. 256) ;
- l'argumentation est un outil⁴⁹ qui oblige à une négociation des significations des énoncés (et par conséquent à une orchestration de l'hétéroglossie) ce qui permet la construction des positions énonciatives pertinentes en sciences (Fillon *et al.*, 2004). En ce sens, elle permet également des déplacements cognitifs puisque, au cours de cette activité argumentative, différents éléments constitutifs de l'explication peuvent être mis en lien. L'argumentation participe « *ainsi à la conceptualisation de son objet et donc à la construction du savoir* » (*ibid.*, p. 208).

Il convient de préciser que notre conception de l'argumentation n'est pas une conception réduite à une présentation des arguments dans un contexte d'opposition de thèses qui est, selon Nonnon, « *la matrice de la plupart des situations argumentatives à l'école* » (1995, p. 67). Il s'agit bien, pour nous, de prendre en compte la dimension heuristique et constructive de l'argumentation, même si la

⁴⁹ Au sens vygotkien d'outil psychologique, voir *infra*.

« représentation de l'argumentation comme obligation de disposer d'une réponse déterminée face à un problème, de tenir un avis et de le défendre constitue certainement un obstacle épistémologique pour d'autres activités argumentatives » (*ibid.*, p. 68). Il nous reste donc à présenter les outils d'analyse de l'activité langagière des élèves que nous pourrions utiliser.

4.1. Des outils pour analyser le travail langagier de construction d'une explication au cours des débats scientifiques en classe

La production d'une explication suppose la maîtrise de plusieurs opérations comme, en particulier en situation orale qui fait intervenir plusieurs interactants, la gestion de l'objet et la gestion du discours (Garcia-Debanc, 1988, p. 137)⁵⁰. Compte tenu de notre cadre théorique, les objets de l'explication correspondent aux éléments du registre empirique ou du registre du modèle qui seront mobilisés dans le cadre de cette explication. Pour tenter d'analyser la façon dont les élèves vont construire ces éléments qui pourront devenir des contraintes empiriques ou théoriques, nous allons principalement utiliser les outils issus de la logique naturelle développée par Grize (1982, 1990, 1996) et en particulier le concept de schématisation. Grize définit une schématisation comme « une représentation discursive orientée vers un destinataire de ce que son auteur conçoit ou imagine d'une certaine réalité », une façon « de faire voir quelque chose à quelqu'un » (1996, p. 50), ainsi que « son résultat virtuel qui consiste en un micro-univers pro-posé devant l'objecteur virtuel B » (1982, p. 152). Pour qu'un énoncé soit recevable, il doit être négocié et c'est en cela que « l'activité globale entre les interlocuteurs est nécessaire afin de s'assurer d'un accord suffisant » (1996, p. 86). Les différentes opérations logico-discursives présentées par Grize dans ces différents ouvrages seront utilisées pour comprendre comment sont co-construits les différents objets qui participent de l'explication. Nous nous intéresserons particulièrement à l'étude des reformulations des élèves qui

⁵⁰ L'étude de Garcia-Debanc porte sur l'écrit explicatif, ce qui nécessite en plus des deux niveaux décrits dans le texte, la gestion de l'interaction : « c'est-à-dire repérer l'enjeu de la communication, situer l'ensemble des déterminants de la situation de communication, dégager les attentes du destinataire et ses connaissances, isoler la nature de l'obstacle à traiter pour lui » (1988, p. 137). Dans le cas de la construction d'une explication à l'orale, la gestion de l'interaction est cogérée par l'ensemble des interactants et pilotée par l'enseignant.

sont considérées comme « *des indicateurs d'une dynamique cognitive* » (Nonnon, 1999, p. 118).

Nous mobiliserons également les outils issus de l'interactionnisme socio-discursif (Bronckart *et al.*, 1985 ; Bronckart, 1996) pour comprendre la façon dont est géré le discours qui vise l'explication. Ainsi, nous tenterons de comprendre :

- à partir d'une analyse de la textualisation des discours des élèves, quels sont les genres de discours produits par les élèves lorsqu'ils s'engagent dans la production d'une explication scientifique et, si au cours du débat scientifique il y a secondarisation du discours, comment celle-ci se produit ;
- à partir d'une analyse de la prise en charge énonciative, si différentes voix sont présentes dans les productions langagières des élèves et comment elles sont orchestrées. Nous devons voir quel rôle peut jouer la gestion de l'hétéroglossie dans le développement de la problématisation.

L'analyse croisée de la façon dont le discours et l'objet du discours sont gérés permettra de comprendre les processus langagiers qui accompagnent la construction de certaines raisons. Mais ces outils ne seront pas suffisants pour nous permettre de comprendre :

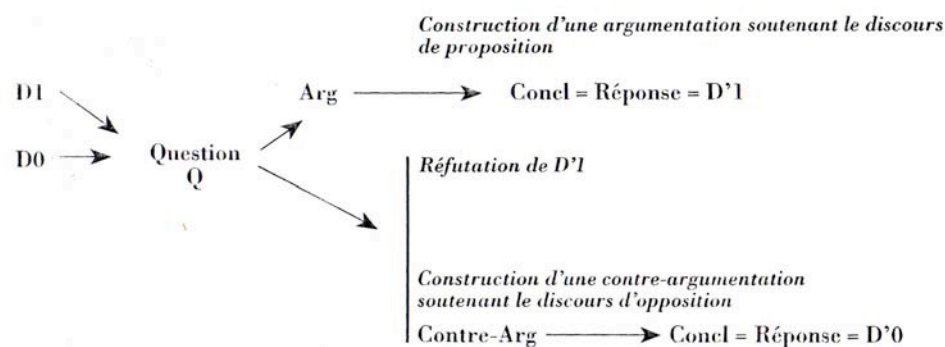
- la façon dont les raisons sont établies et la dynamique du débat ;
- comment au final, les raisons sont logiquement validées.

Nous mobiliserons deux autres outils d'analyse pour comprendre cela.

4.2. Des outils pour analyser l'articulation des argumentations produites par les élèves et la construction des raisons

Pour tenter de comprendre comment s'articulent les raisons construites par les élèves engagés dans la production d'une explication au cours d'un débat scientifique, nous ferons appel au modèle du trilogue argumentatif de Plantin (1996, 2005). Il permet de décrire, dans des situations fortement argumentatives, le développement de plusieurs discours antagonistes. La figure 2-4 présente ce modèle.

Figure 2-4. Le modèle du trilogue argumentatif de Plantin (1996, p. 11)



Ces situations ne sont possibles que s'il existe, au préalable, deux ensembles d'éléments discursifs antagonistes (Plantin, 1996, p. 11). Elles se développent à partir de trois modalités discursives qui correspondent à trois rôles discursifs : le proposant tient un discours de proposition, l'opposant un discours d'opposition et le tiers prend en charge ce que Plantin nomme une question (*ibid.*, p. 12). Ainsi, il conviendra de nous interroger sur le statut de cette question⁵¹ et de d'analyser la façon dont les débats sont structurés par cette succession de questions, c'est-à-dire de comprendre comment le débat suscite l'argumentation et comment celle-ci évolue. Dans ces analyses, ce qui importe, comme le précise Nonnon, est de comprendre « *comment le questionnement se déplace et éventuellement change de niveau* » (1999, p. 108).

L'analyse de la dynamique argumentative du débat, associée à la façon dont sont construits et gérés les objets du discours et le discours lui-même devrait nous permettre de rendre compte du processus de la problématisation, comme l'ont montrés certains de nos travaux (Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009). Enfin, nous analyserons d'un point de vue logique, les arguments issus de ce processus de problématisation. Pour cela, nous aurons besoin d'un dernier outil d'analyse.

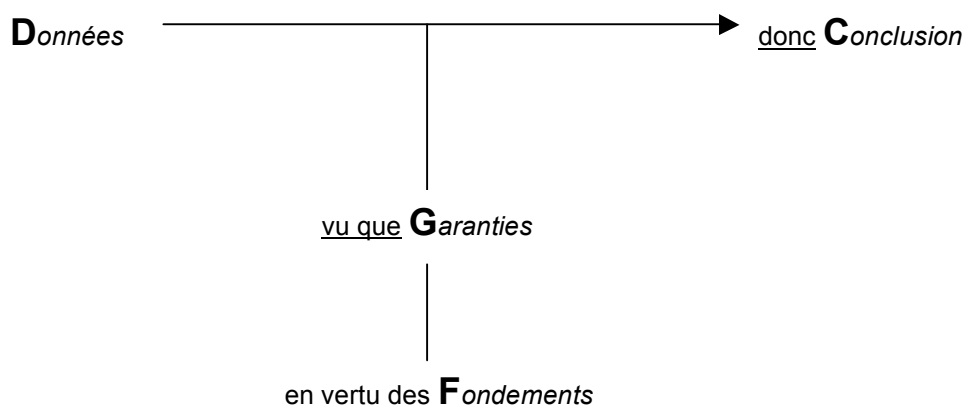
4.3. Des outils pour analyser les arguments produits par les élèves

La plupart des auteurs (Newton *et al.*, 1999 ; Simon *et al.*, 2006) pensent, comme Newton *et al.*, que le modèle développé par Toulmin dans *Les Usages de*

⁵¹ Garcia-Deban (1996) montre que l'une des causes qui limite l'argumentation des élèves est justement la difficulté à identifier et à thématiser la question qui est au centre du débat.

l'argumentation, peut être facilement utilisé « par les enseignants et en particulier par les enseignants scientifiques pour identifier les composants et la complexité des argumentations des élèves » (Newton *et al.*, 1999, p. 554). La figure 2-5 représente le schéma proposé par Toulmin (1993, p. 128).

Figure 2-5. Le modèle de Toulmin de l'analyse d'une argumentation (1993, p. 128)



Une argumentation présente une conclusion qui s'appuie sur des faits (des données). La loi de passage des données à la conclusion repose sur ce que Toulmin appelle la « garantie » (*ibid.*, p. 120-121), le plus souvent implicite (*ibid.*, p. 122) dans les argumentations des élèves, garantie qui repose elle-même sur un fondement (*ibid.*, p. 126-132).

Ce modèle va nous permettre, à la suite de nombreux autres auteurs⁵², d'examiner les garanties et les fondements des arguments des élèves qui restent souvent implicites et que nous devons reconstruire. Comme le précise Grice, « c'est l'aspect discursif du raisonnement qui permet et même commande l'usage de non-dits, ce qui renvoie à la notion d'implicature introduite par Grice, c'est-à-dire à ce qui est implicitement impliqué par les énoncés manifestes » (1996, p. 108), nous faisons donc l'hypothèse que les propositions des élèves sont sensées et les inférences proposées devront permettre de rendre compte de la logique des propositions des élèves.

⁵² Orange (2003b, p. 10-13) ; Weisser *et al.* (2003, p. 17-52) ; Orange (2003a, p. 83-107) ; Orange (2004) ; Allieu-Mary *et al.* (2004, p. 113-199).

5. Conclusion et nouvelle formulation des questions de recherche

Nous avons tenté de décrire, dans un premier temps, les relations qui existent entre activités scientifiques et activités langagières qui ne peuvent se limiter à la publication des produits de la recherche. Nous avons montré en quoi l'activité langagière est consubstantielle de l'activité scientifique et mobilise des formes langagières variées. Puis, nous avons présenté une conception du langage qui nous permet de rendre compte de ces relations entre activités langagières et activités scientifiques.

Dans un dernier temps, nous avons montré en quoi apprendre les sciences à l'école revient à apprendre des savoirs scientifiques, mais également les pratiques qui ont contribué à leur production, non seulement techniques mais aussi sociales et langagières qui vont permettre aux élèves de s'instituer dans des communautés discursives scientifiques transposées à l'école. En effet, le changement de contexte social, la co-construction d'un contexte, doit inciter les élèves à déplacer leur point de vue à travers une recontextualisation et une reconfiguration de leurs pratiques initiales, qui peut s'appuyer sur les genres discursifs reconnus dans la communauté concernée (la controverse scientifique, le texte explicatif scientifique...).

Au cours de ces différents chapitres, nous avons essayé de montrer que le cadre épistémologique qui constitue le fondement de notre travail est compatible⁵³ avec l'approche langagière choisie. Ainsi, nous avons discuté d'une articulation possible entre le cadre de l'apprentissage par problématisation du CREN et une approche socio-historique du développement et des apprentissages, à travers la comparaison entre plusieurs éléments constitutifs de ces cadres théoriques :

- la conception problématologique de Meyer et une conception dialogique du langage (section 2.2) ;
- la théorie des trois mondes de Popper et le processus de secondarisation (section 2.4.) ;
- la rupture épistémologique de Bachelard et l'approche vygotkienne de l'apprentissage et du développement (section 3.2.).

⁵³ Il s'agit bien de tenter une articulation entre l'approche épistémologique et l'approche est langagière sans vouloir les assimiler l'une à l'autre.

Ces différents éléments nous permettent de construire un cadre théorique au sein duquel nous cherchons à comprendre comment les élèves, au cours d'un moment didactique qui nous semble décisif pour les apprentissages scientifiques, le débat scientifique⁵⁴, construisent des explications scientifiques, à l'articulation entre problématisation et conceptualisation. Ces analyses auront un volet épistémologique que nous allons articuler avec l'activité langagière des élèves mise en œuvre au cours de ces débats scientifiques. Nous nous appuyerons sur les travaux issus des recherches sur les relations entre apprentissages langagiers et apprentissages scientifiques (différentes recherches initiées par l'INRP sur les pratiques d'écriture et sur l'argumentation, travaux portant sur les interactions langagières) et aussi en didactique du français (équipe de Bernié, de Garcia-Debanc, de François et Nonnon).

Les travaux de Martine Jaubert (2000, 2007, 2008) et de Maryse Rebière (2000, 2001), qui ont mis en évidence une relation étroite entre la construction de savoirs scientifiques et la conquête de la cohérence discursive, seront mobilisés. Nous ferons l'hypothèse que l'activité de problématisation s'accompagne, sur le plan langagier, d'une secondarisation des discours des élèves et que le processus de secondarisation, signalé par les transformations des textes produits par les élèves, peut nous permettre, en retour, de mieux comprendre le processus de problématisation. Il s'agira donc, à partir des différentes études de cas présentées dans les chapitre 4 et 5 d'explicitier ces liens sur des thèmes différents de sciences de la vie, avec des élèves d'âges différents, pour tenter d'identifier certains invariants et certains points problématiques dans le compréhension des processus de problématisation. Ainsi, les analyses langagières ne seront pas faites pour elles-mêmes, mais bien pour nous permettre de comprendre comment et à quelles conditions les élèves peuvent construire des explications en biologie dans le cadre d'une activité de problématisation.

⁵⁴ Les études de cas que nous allons présenter s'appuient sur l'analyse des situations de débat scientifique en classe préparé en amont par des moments de production écrite individuelle et/ou en groupe. Cela ne correspond qu'à un moment des situations d'enseignement-apprentissage. La mise en texte reste généralement inachevée et peu formalisée à la fin des séances de débat et il serait intéressant de suivre cette mise en texte sur la totalité des séquences d'enseignement-apprentissage. Ces travaux ont commencé (Orange & Orange-Ravachol, 2007) dans le cadre d'une recherche collaborative INRP-IUFMs d'Aquitaine, de Basse-Normandie et des Pays de la Loire sous la direction de Christian Orange.

Chapitre 3. QUESTIONS DE RECHERCHE, DOMAINE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Chapitre 3. QUESTIONS DE RECHERCHE, DOMAINE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL	149
Introduction	150
1. Explicitation des questions de recherche	151
1.1. Fonctionnalité des « espaces contraintes et nécessités » sur des cas particuliers (approche épistémologique préalable)	151
1.2. Analyse des problématisations scolaires : une analyse du processus de problématisation dans le cas de problèmes explicatifs	152
2. Objets d'étude, niveaux de classe et situations retenues	154
2.1. Les objets d'étude : biologie fonctionnaliste et biologie historique	154
2.2. Les niveaux d'étude retenus	155
2.3. Deux situations ouvertes et une situation plus contrainte	157
2.4. Conclusion : comparaison des trois études menées	158
3. Méthodologie de travail	159
3.1. Une analyse préalable de nature épistémologique de l'objet d'étude abordé	159
3.2. Méthodologie d'analyse des débats scientifiques	160

Introduction

L'objet de ce chapitre est de formuler précisément nos questions de recherche énoncées à la fin du premier chapitre et reprises à la lumière du chapitre 2 autour de la question de la compréhension du processus de problématisation en sciences de la vie dans des problèmes explicatifs.

Il s'agira également d'expliquer le choix des thèmes retenus par rapport à ces questions de recherche et en quoi la méthodologie que nous allons mettre en œuvre nous permettra d'avancer par rapport aux relations entre problématisation, activités langagières des élèves et apprentissages dans le champ de la biologie.

I. Explicitation des questions de recherche

Au cours du premier chapitre, nous avons relevé un certain nombre de points critiques par rapport au cadre de la problématisation en SVT tel qu'il est développé par l'équipe de Christian Orange au sein du CREN, université de Nantes. Nous en avons identifié plusieurs, notamment concernant :

- les catégorisations, par les chercheurs, des propositions des élèves au sein d'un registre particulier (registre empirique ou registre des modèles) lors des problématisations scolaires ;
- les liens entre cette catégorisation et le statut de contrainte ou nécessité attribué par le chercheur ;
- les liens entre problématisation, problème et obstacles.

Nous avons fait l'hypothèse que la centration sur le produit de la problématisation, plus que sur le processus, pouvait être à l'origine des difficultés rencontrées. De plus, à la suite de ce constat, nous avons proposé un espace « contraintes et nécessités », représentation modifiée par rapport aux « espaces de contraintes en jeu » proposés par Orange (1999), comme un outil pour clarifier les différents points critiques.

I.1. Fonctionnalité des « espaces contraintes et nécessités » sur des cas particuliers (approche épistémologique préalable)

Un premier objectif de notre recherche sera de faire fonctionner ces « espaces contraintes et nécessités » sur des cas particuliers dans le cadre d'une analyse préalable en lien avec nos objets d'étude. Cela nous permettra d'étudier, sur des cas précis, leur fonctionnalité et de voir s'ils nous permettent d'avancer sur la question des relations entre problématisation, problème et obstacles. Nous pourrions également discuter l'intérêt des « empiriques nécessaires » proposés.

I.2. Analyse des problématisations scolaires : une analyse du processus de problématisation dans le cas de problèmes explicatifs

Un second objectif de notre recherche vise à comprendre comment l'articulation étroite entre les pratiques de savoir et les pratiques langagières des élèves permet de rendre compte du processus de problématisation autour de certains problèmes explicatifs (dont nous avons montré l'importance dans l'activité scientifique dans le premier chapitre de ce mémoire) lors de moments de débats scientifiques dans les classes.

Le suivi des interventions des élèves, au niveau épistémologique et langagier, nous semble nécessaire pour suivre le travail des savoirs dans / par le langage. C'est cette approche, que nous qualifions de microscopique, qui caractérise notre recherche par rapport à celles qui sont développées au sein de l'équipe dirigée par Christian Orange (Orange, 2000 ; Orange-Ravachol, 2003 ; Beorchia, 2003), où seuls certains extraits de débats scientifiques, ceux qui sont identifiés comme intéressants à partir d'une analyse épistémologique, donnent lieu à des analyses plus fines. C'est d'ailleurs un travail de ce type que nous avons mené dans le cadre de notre mémoire de DEA (Lhoste, 2004), même si les analyses microscopiques réalisées ne concernaient que certains extraits d'un débat sur la nutrition dans une classe de 3^e, corpus que nous allons reprendre dans ce travail. Nous avons montré que les analyses épistémologiques concernent généralement moins de 20% des interventions des élèves et précisé (à la suite d'Orange, 2003) qu'il serait absurde de considérer que les 80% d'interventions restantes ne jouent aucun rôle pour ce qui concerne l'activité de problématisation. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que les analyses épistémologico-langagières extensives seront en mesure de nous donner des informations sur la façon dont les élèves, individuellement ou en interaction entre eux ou avec l'enseignant, construisent les raisons (et prennent en charge cette construction) dans la dynamique du débat.

Comme l'activité langagière des élèves (*écrite* : productions écrites recueillies lors des évaluations diagnostiques, productions de groupe affichées au tableau et support du débat et / ou *orale* : ce que disent les élèves et l'enseignant ou le formateur pendant les moments de débat) est directement engagée dans le travail de problématisation, tout en fournissant des traces analysables, nous avons mobilisé

certains travaux de recherche dans le champ des sciences du langage (notamment les travaux de l'équipe de l'université Victor-Ségalen-Bordeaux 2 de didactique de français : Bernié, 1996 ; Jaubert, 2007a, 2007b ; Rebière, 2001 ; Boiron, 2004), afin d'avoir des outils méthodologiques (compatibles avec le cadre de la problématisation, discussion conduite dans le chapitre 2 de ce mémoire) pour analyser l'activité épistémologico-langagière à l'œuvre dans les interactions entre élèves.

Nous souhaitons préciser que les outils langagiers que nous allons mobiliser dans ce travail ne le sont pas pour eux-mêmes, mais sont au service des informations que nous pourrions en extraire du point de vue d'une activité de problématisation en sciences de la vie. Ainsi, c'est la dimension épistémologique qui contrôlera nos interprétations. Dans ce sens, les analyses que nous allons conduire sont doubles mais contrôlées par la dimension épistémologique. Ces analyses épistémologico-langagières constituent une seconde spécificité de notre travail de recherche.

La dernière hypothèse concerne les informations que nous pourrions obtenir de ces analyses. Nous essaierons de montrer en quoi elles nous permettent de comprendre comment les élèves s'engagent dans une problématisation scolaire en sciences de la vie à partir de ce qu'ils sont et de ce qu'ils savent. Nous pensons que nos analyses pourront nous donner des informations :

- sur ce qu'ils peuvent produire comme explication scientifique avant apprentissage ;
- sur les problèmes et obstacles qu'ils peuvent rencontrer pour produire ces explications et/ou pour s'engager dans une activité de problématisation ;
- sur les effets de l'activité de problématisation sur l'évolution de leurs explications et leurs apprentissages.

En retour, ces différents éléments devraient nous aider à déterminer les conditions de possibilité d'une problématisation scolaire en sciences de la vie.

2. Objets d'étude, niveaux de classe et situations retenues

2.1. Les objets d'étude : biologie fonctionnaliste et biologie historique

Nous avons retenu deux objets d'étude différents pour cette recherche : celui de la nutrition et celui de l'évolution afin de pouvoir formuler des conclusions qui aient un certain degré de généralité

Comme l'indique Mayr (1982, p. 111 ; 1998 p. 129), la biologie a fondamentalement pour objectif de répondre à deux types de questions¹ : des questions en « comment » et des question en « pourquoi ». Cela lui permet de distinguer deux champs dans les sciences de la vie :

- la biologie qui recherche les causes immédiates : la biologie fonctionnaliste (comment les êtres vivants produisent leur propre matière à partir de ce qu'ils prélèvent dans leur milieu de vie, comment à partir des aliments, les nutriments sont distribués à chaque cellule de l'organisme...);
- la biologie qui recherche les causes lointaines : la biologie évolutionniste (comment expliquer l'apparition de certaines espèces, leur disparition, pourquoi les êtres vivants partagent-ils certains caractères communs...).

Qu'il s'agisse de biologie fonctionnaliste ou de biologie historique, « *ce sont des questions auxquelles on répond en donnant une explication* » (Popper, 1991/1998, p. 394). Mais comme nous l'avons déjà précisé (chapitre 1, section 3.1.), ces explications relèvent de types ou de modes d'explication différents, notamment pour ce qui concerne l'intervention de la dimension temporelle qui joue un rôle particulier dans la biologie historique². Il nous semblait donc intéressant d'étudier la façon dont des élèves de différents niveaux scolaires s'engagent dans une activité de problématisation sur des problèmes de biologie historique et fonctionnaliste, notamment par rapport à l'utilisation qu'ils font du temps dans leurs explications.

¹ Popper précise d'ailleurs que « *quand nous recherchons la connaissance pure, notre but est, tout simplement, de répondre à des questions du type "comment", et du type "pourquoi". Ce sont des questions auxquelles on répond en donnant une explication. Ainsi tous les problèmes de connaissance pure sont-ils des problèmes d'explication* » (1991/1998, p. 394).

² Voir les travaux de Denise Orange-Ravachol par rapport à la question du temps en géologie historique (Orange-Ravachol, 2003).

Par rapport à l'objet d'étude relevant de la biologie fonctionnaliste, nous traiterons du thème de la nutrition dans le secondaire. Il s'agit d'un thème classiquement étudié dans le cadre des travaux sur la problématisation en sciences de la vie et d'un classique de la didactique de la biologie. Cela permettra de mettre en évidence la particularité de notre approche, par rapport aux différents travaux publiés par Orange sur cette thématique (1999, 2001, 2003a, 2003b, 2004a, 2005).

Pour ce qui concerne la biologie historique, nous aborderons le thème de l'évolution des espèces et de la construction du concept d'ancêtre commun. Ces deux thèmes ont été moins étudiés du point de vue de la problématisation, à l'exception des travaux d'Orange-Ravachol, qui s'est intéressée à la question l'origine de la vie sur Terre (2003) et à la question des classifications des êtres vivant du point de vue de la problématisation (Orange-Ravachol & Ribaud, 2006). Ce qui nous intéresse dans ce thème, en dehors de l'intérêt d'aborder les questions de l'évolution par rapport au cadre théorique de la problématisation, c'est la façon dont les élèves peuvent mener des raisonnements qui devront nécessairement faire intervenir le temps. Nous pourrons ainsi les comparer aux raisonnements suivis par les élèves confrontés à des questions fonctionnalistes.

2.2. Les niveaux d'étude retenus

La particularité de notre corpus, pour les deux objets d'étude retenus, tient au niveau de scolarité des élèves. Pour l'étude de cas sur la nutrition, alors que l'objet d'étude est un classique de l'équipe de didactique des SVT du CREN, le niveau d'étude est particulier puisqu'il s'agit d'élèves de la classe de 3^e. C'est particulier par rapport à la plupart des travaux conduits sur ce sujet (qui concernent des élèves de l'école primaire ou du début du collège : classe de 5^e).

Pour les deux études de cas sur l'évolution, mécanismes de l'évolution et concept d'ancêtre commun, nous avons suivi des élèves de première ES et des étudiants qui préparent le concours de recrutement de professeur des écoles et qui ont choisi la majeure *Sciences expérimentale et technologie* pour la troisième épreuve écrite du concours. La plupart de ces étudiants ont obtenu un baccalauréat scientifique, certains ayant eu un cursus universitaire en biologie.

Dans les trois cas, supports de notre recherche, les élèves et étudiants dont nous allons analyser l'activité de problématisation ont déjà abordé ces questions, au cours de leur parcours à l'école, au lycée ou à l'université³ :

- les élèves de 3^e ont traité des questions de nutrition dans la classe de 5^e⁴ où ils ont abordé la question de la digestion, de la respiration et de la circulation sanguine, thèmes abordés après avoir mis en évidence les besoins des organes en nutriments et en dioxygène. Il s'agit également de questions qui sont abordées à l'école primaire ;
- les élèves de première ES ont abordé le thème de l'évolution des êtres vivants en classe de quatrième⁵ et ont travaillé en classe de seconde la question de la parenté et de la diversité des organismes (à travers la partie 3 du programme de la classe de seconde : « *Cellule, ADN et unité du vivant* », France : MÉN, BO hors-série, n°6 du 12 août 1999, p. 28) ;
- les étudiants préparant le concours, pour ceux qui ont obtenu un baccalauréat scientifique, ont eu un enseignement en terminale S concernant la partie 2 du programme de TS : « *Parenté entre êtres vivants actuels et fossiles – Phylogénèse - Évolution* » (France : MEN, BO hors-série, n°5 du 30 août 2001, p. 5-6). Quant aux étudiants ayant suivi un cursus universitaire de biologie, ils ont nécessairement traité ce thème lors de leurs études.

Nous serons donc attentif, dans nos études de cas, à la façon dont les élèves ou les étudiants vont, d'une part, s'engager dans la production d'explications scientifiques et dans les débats scientifiques, ce qui pourra nous donner des indications sur leur représentation d'une activité scientifique scolaire et, d'autre part, à la façon dont ils vont mobiliser ou non des savoirs dans les raisonnements qu'ils vont mener et comment ils seront utilisés dans le processus de problématisation.

³ Nous voulions étudier les problématisations scolaires avec des élèves qui avaient déjà abordé, au cours de la scolarité, les questions auxquelles nous allions les confronter. Compte tenu des programmes scolaires et de la difficulté *a priori* plus grande des problématisations historiques, nous avons choisi de les étudier chez des élèves plus âgés comparativement à ceux engagés dans une problématisation fonctionnaliste, dont le corpus était au départ de notre recherche.

⁴ France : MÉN (1997). Programmes de SVT, classes de 5^e et 4^e. *BO Hors-série*, n°1, 13 février 1997.

⁵ Depuis la rentrée 2008, le thème de l'évolution est traité en classe de 3^e (France : MÉN, août 2008) et plus en classe de 4^e.

2.3. Deux situations ouvertes et une situation plus contrainte

Il y a un dernier élément qui distingue nos trois études de cas : c'est le type de dispositif auquel vont être confrontés élèves et étudiants. Ainsi, même si dans les trois cas nous allons nous consacrer à l'étude du processus de problématisation, les situations, en amont du débat scientifique, sont différentes.

Dans deux études de cas (nutrition - 3^e et évolution - 1^{re} ES), le débat scientifique est préparé par deux moments de travail :

- une évaluation diagnostique individuelle, au cours de laquelle une question ouverte appelant une explication est proposée aux élèves : « expliquer comment un organe (comme le muscle) est approvisionné en énergie et en matière », en classe de 3^e ; « expliquer quelles sont les causes de l'évolution des êtres vivants », en classe de première ES ;
- un travail de groupe, au cours duquel les élèves doivent reprendre leur évaluation diagnostique et produire, pour le groupe, une affiche qui doit répondre à la même question que celle de l'évaluation diagnostique. La mutualisation des réponses possibles les engage déjà dans une première modification des savoirs, qui sera poursuivie lors du débat scientifique dont ces affiches sont le support..

Dans la troisième étude de cas (construction du concept d'ancêtre commun avec des étudiants en PE1), le dispositif est contraignant puisqu'il propose d'emblée aux étudiants de travailler avec un certain nombre d'éléments (certains caractères sont étudiés dès le départ, des contraintes de temps sont fixées) pour arriver à expliquer quelles sont les relations de parenté entre les êtres vivants étudiés.

Il sera intéressant de comparer la façon dont les élèves et les étudiants s'engagent dans la production d'une explication dans ces deux types de situation et comment les contraintes de situation, dans la troisième étude de cas, vont être mobilisées par les étudiants au cours de l'activité de problématisation.

2.4. Conclusion : comparaison des trois études menées

Le tableau 3-1 récapitule les caractéristiques des trois études de cas que nous allons mener afin de mieux comprendre le processus de problématisation à l'œuvre dans les débats scientifiques en biologie. Cela permet de comprendre les comparaisons que nous serons en mesure de faire au moment de la discussion générale (chapitre 6).

Tableau 3-1. Présentation comparative des trois études de cas

	<i>Nutrition – 3^e</i>	<i>Évolution – 1^{re} S</i>	<i>Ancêtre commun – PE1</i>
<i>Champ de la biologie</i>	Biologie fonctionnaliste	Biologie historique	Biologie historique
<i>Niveau de classe où ce thème a déjà été abordé par les élèves</i>	Primaire, 5 ^e	4 ^e , 2 ^{de}	TS, Licence
<i>Type de situation</i>	Situation ouverte	Situation ouverte	Situation contrainte

Il nous reste maintenant à présenter la méthodologie que nous allons mettre en œuvre sur ces trois études de cas.

3. Méthodologie de travail

Pour les deux thèmes étudiés, nous allons procéder en deux temps. Un premier temps sera consacré à une analyse préalable du thème abordé. Dans un second temps, nous analyserons principalement le script des débats supports de nos études de cas.

3.1. Une analyse préalable de nature épistémologique de l'objet d'étude abordé

Pour les deux thèmes considérés, nous avons choisi de ne pas mener exactement le même type d'analyse préalable.

Pour le thème de la nutrition, nous réaliserons une analyse préalable de nature épistémologique afin de discuter des relations entre problématisation, problème biologique et obstacles. En effet, ce thème a donné lieu à de nombreux travaux ayant une dimension épistémologique fouillée (Orange, 1994a ; Ducros, 1989; Goix, 1996). Ainsi, nous nous appuyerons sur ces travaux et d'autres (Clément, 1991 ; Sauvageot-Skibine, 1991 ; Peterfalvi, 1992⁶, 2001 ; Goix, 1997 ; Orange, 2000, 2003 ; Zonca, 2001 ; Brabet, 2008) pour proposer une analyse didactique *a priori*. Cette étude devra nous permettre de déterminer le problème biologique pris en charge par les élèves de la classe de 3^e, car il apparaît que, derrière les questions de nutrition, il y a différentes familles de problèmes. De plus, cela nous permettra de mobiliser les espaces « contraintes et nécessités » sur une question déjà abordée à de nombreuses reprises et d'envisager cette question dans une perspective curriculaire.

Pour ce qui concerne l'objet d'étude évolution, les travaux de recherche abordant ces questions dans une perspective didactique avec un éclairage épistémologique sont moins nombreux (Fortin, 1993) ou sont limités sur le concept d'ancêtre commun (une communication, Quessada & Clément, 2005). Nous avons donc choisi de conduire les analyses préalables de point de vue du cadre théorique de la problématisation. Ainsi, sur ces deux sujets, nous mènerons une analyse proprement épistémologique des concepts en jeu afin de comprendre les explications actuellement retenues. Il ne s'agira pas de faire une présentation approfondie des

⁶ Il s'agit de la *Recherche objectifs-obstacles et situations d'apprentissage* (ROOSA) autour du concept de transformation de la matière, dont certains articles des numéros 24 et 25 de la revue *Aster* sont issus (Aster, 1997a, 1997b).

savoirs scientifiques actuels, mais bien d'identifier les conditions de possibilité de construction de ces concepts scientifiques.

Le concept de « *condition de possibilité* » se retrouve dans l'œuvre de Canguilhem, même s'il n'en fournit jamais une définition précise. On le retrouve également chez Foucault. Chez ces auteurs, les conditions de possibilité peuvent recouvrir tout autant des conditions intellectuelles (qui renvoient chez Foucault à une épistémè) et/ou techniques⁷ qui permettent l'émergence de nouveaux concepts. Il convient d'indiquer que, pour ces deux auteurs, ce ne sont pas nécessairement des conditions préalables à l'émergence des concepts, puisqu'elles peuvent se former simultanément à la formation de ceux-ci. Cette première approche des objets d'étude devra nous donner les moyens de déterminer ce que Bachelard appelle des « *profils épistémologiques* », c'est-à-dire « *une échelle polémique suffisante pour localiser les divers débats de la philosophie scientifique, pour empêcher la confusion des arguments* » (1940/2005, p. 41).

C'est à partir des ces études préalables que nous aborderons l'analyse des débats scientifiques en classe autour des trois objets d'étude précisés précédemment (tableau 3-1).

3.2. Méthodologie d'analyse des débats scientifiques

Dans un premier temps, les travaux de l'équipe de didactique des SVT du CREN, ont analysé des débats scientifiques en classe à partir d'une analyse épistémique des propositions des élèves (Orange, 2000). Cette première analyse permet d'obtenir une première catégorisation des interventions, certaines relevant du registre empirique (RE), d'autres du registre du modèle (RM) et les troisièmes d'une mise en relation d'éléments des deux registres (RE-RM). On repère alors, parmi ces interventions, celles au sein desquelles on peut identifier des contraintes et des nécessités. Les interventions sont alors catégorisées comme indiquant : des contraintes empiriques (CE), des nécessités sur le modèle (CM) ou une articulation entre CE et CM (CE-

⁷ Canguilhem indique ainsi trois conditions de possibilité de la chimiothérapie : « *une nouvelle symbolisation des choses chimiques, une nouvelle technique substituant l'extraction de substances la production de produits* » et la découverte de la sérothérapie (1981, p. 72). Deux relèvent de la mise en œuvre de techniques nouvelles et l'une renvoie à la mise à disposition de certains outils intellectuels.

CM). Les contraintes et nécessités mises à jour s'organisent dans un espace de contraintes en jeu dans ce débat.

Comme nous l'avons souligné dans le chapitre 1, ces distinctions valent essentiellement pour le didacticien. Nous voulons comprendre :

- comment, dans/par les actes langagiers mis en œuvre par les élèves au cours du débat, s'engagent les deux dédoublements caractéristiques du processus de problématisation (dédoublement faits / idées ; dédoublement assertorique / apodictique) ?;
- ce qui permet d'enclencher ce processus ;
- ce qui favorise, limite ou empêche ce processus.

Avancer par rapport à ces différentes questions, pour prendre en compte plus finement les processus langagiers qui mettent en jeu les différents registres, implique de mener des analyses au niveau microscopique (dans le sens donné précédemment), comme l'avait précisé Orange (2003) dans un travail qui ouvrait les avenues de recherche que cette recherche développe et prolonge⁸. En effet, ce que nous cherchons à caractériser relève de mouvements épistémologico-langagiers très localisés. Cela nous oblige à conduire des analyses avec un grain très fin. Cependant, il faudra relier ces analyses à un niveau plus macroscopique (dans notre recherche, le niveau macroscopique renvoie au niveau du débat) pour ne pas perdre le sens des savoirs qui sont au travail et de la dynamique générale du processus de problématisation.

3.2.1. Premier temps : analyse macroscopique

Une première analyse macroscopique des débats étudiés permettra d'identifier les savoirs biologiques travaillés par les élèves au cours des trois débats qui constituent notre corpus de recherche. Deux moments différents peuvent être identifiés.

Dans un premier temps, nous pouvons ainsi repérer les temps de présentation, d'explicitation des affiches ou production des groupes qui servent de point de départ au débat scientifique. Du point de vue langagier, nous pensons que ces moments, de

⁸ « Ces différents aspects de ce que nous appelons, en fonction de notre cadre épistémologique, une "argumentation sur les possibles" méritent, de toute évidence, d'être davantage travaillés avec des outils encore à développer. Il est important de noter qu'ils échappent totalement à une analyse purement épistémique, comme celle que nous avons présentée dans la partie 2, alors que la construction de schématisations communes sur des explications possibles est une condition de possibilité de la problématisation » (Orange, 2003, p. 95-96).

présentation/explicitation des productions supports, correspondent à la construction d'une schématisation au sens de Grize (pour la définition de la schématisation chez Grize, cf. chapitre 2, section 4.1.).

Dans un second temps, à partir du script du débat, nous avons identifié des épisodes, définis par les thèmes qui y sont travaillés. Du point de vue langagier, ces épisodes nous semblent correspondre à une séquence définie par Kerbrat-Orecchioni comme « *un bloc d'échanges reliés par un fort degré de cohérence sémantique et/ou pragmatique* » (1998, p. 218). Ce sont ces critères qui nous ont permis de les identifier.

Cependant ces données ne disent rien des questions qui ont été abordées, ni des problèmes réellement traités par les élèves. Pour avancer à partir de l'identification des différents épisodes, nous construirons, pour chaque débat, une macrostructure à la manière de Fabre et Orange (1997) et Fabre (1999)⁹. Cela permettra une première identification des problèmes auxquels les élèves se sont attaqués et nous donnera des indications sur la dynamique du débat.

Au terme de ces analyses macroscopiques, nous avons un premier découpage des débats étudiés :

- les moments de présentation des productions de groupe qui mènent à la construction d'une schématisation (au sens de Grize). Celle-ci permet de proposer aux autres élèves de la classe une explication à la question posée. Le travail réalisé dans le cadre de notre mémoire de DEA avait montré que l'étude des schématisations donne des indications sur le processus de problématisation, raison pour laquelle nous reprendrons ces analyses ;
- des épisodes qui permettent aux élèves de discuter certaines questions relatives au problème biologique abordé, questions identifiés dans les macrostructures du débat.
- une identification de la structure du débat (quels sont les sous-problèmes traités ? Comment s'articulent-ils avec la question de départ ? Quels enchaînements ?).

À partir des macrostructures déjà publiées sur divers thèmes (nutrition : Fabre & Orange, 1997 ; Fabre, 1999 ; mouvement du bras : Beorchia & Lhoste, 2008), nous pouvons déjà préciser que nous rencontrerons deux types d'organisation autour des questions abordées dans un débat scientifique :

⁹ Nous présenterons la méthodologie précise de réalisation de ces macrostructures lorsque nous construirons la première.

- des organisation de type 1 : question et ensemble de réponses possibles à cette question ;
- des organisations de type 2 : question, ensemble de réponses possibles à cette question et objection à l'une ou l'autre des réponses proposées. Cela définit des « nœuds » caractérisés par « une intense activité argumentative » (Fabre, 1999, p. 201).

C'est à partir de ce premier découpage que nous procéderons à des analyses microscopiques des interventions des élèves.

3.2.2. Deuxième temps : une analyse microscopique à l'échelle d'un épisode mobilisant deux outils différents

Pour comprendre comment la problématisation se développe au sein des ces différents épisodes, nous allons nous intéresser à l'activité langagière des élèves et principalement à leur activité argumentative. En effet, Fabre (1999, p.199) indique que le processus qui permet de construire un espace-problème peut être abordé comme une activité argumentative qui, d'une part, permet la construction des solutions possibles et relève d'une schématisation (au sens de Grize, 1996, 1997) et, d'autre part, possède une dimension formelle puisque, parmi les solutions présentées, les élèves seront amenés à en préférer certaines. De plus, nous pensons, notamment à la suite de Jaubert (2000, 2007b), Rebière (2000) et Jaubert et Rebière (2000, 2001), que l'observation et l'analyse de l'activité langagière des élèves nous renseignent sur leur activité cognitive et, ce faisant, sur la problématisation.

Ainsi, dans les moments de présentation des productions supports au débat et les épisodes qui correspondent à l'organisation de type 1, nous procéderons à une analyse épistémologico-langagière au cours de laquelle, en nous appuyant sur certains indicateurs langagiers (genre du texte de l'explication produite, orchestration de l'hétéroglossie, types de raisonnements conduits ou d'arguments avancés), nous essaierons de suivre, au plus prêt, la façon dont les élèves construisent une explication, en relation avec la question de départ, et le processus de problématisation à l'œuvre dans l'élaboration de ces explications. Ainsi, nous renverrons les propositions des élèves (du point de vue épistémologique) aux deux dédoublements présentés au chapitre 1 (fait/idée, apodictique/assertorique).

Les épisodes de type 2 correspondent à des moments d'intense activité argumentative (les « nœuds »). Nous les analyserons à partir de la construction d'une

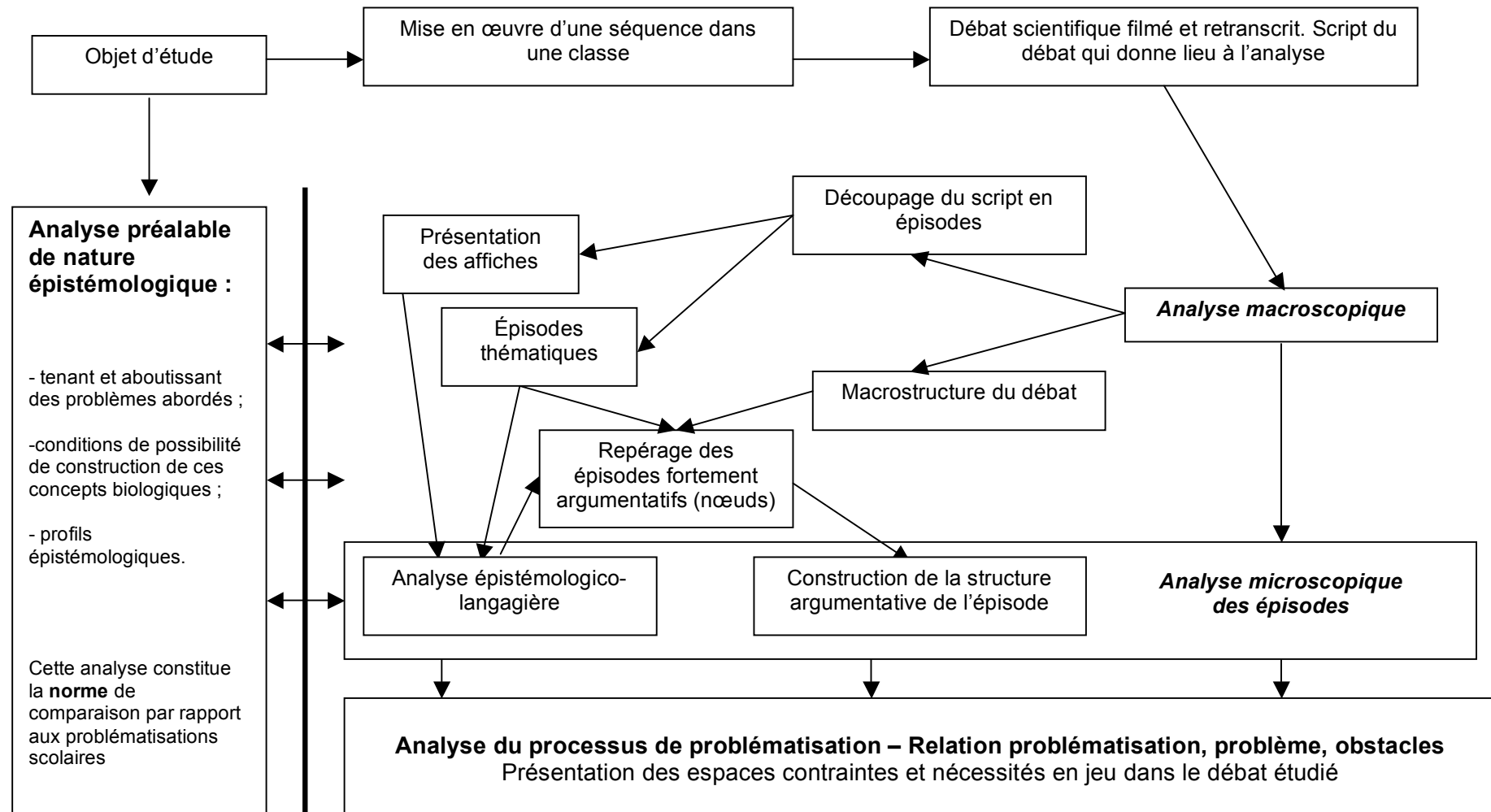
structure argumentative à l'échelle d'un épisode, en mobilisant une méthodologie développée dans Orange, Lhoste et Orange-Ravachol (2009). Ces structures argumentatives pourront être discutées en mobilisant le modèle du trilogie argumentatif de Plantin et le schéma argumentatif de Toulmin (chapitre 2) ce qui nous permettra de comprendre comment les élèves argumentent leurs choix. Par ailleurs, cela devrait nous permettre d'avancer sur la question des liens entre problématisation, problème (quels sont les problèmes qu'identifient les élèves, qu'ils prennent en charge) et obstacles (comment les savoirs quotidiens jouent par rapport au processus de problématisation).

3.2.3. Conclusion

La figure 3-1 reprend, d'une façon synoptique, la méthodologie que nous allons mettre en œuvre pour les trois études de cas, sur les deux objets d'étude présentés :

- Chapitre 4 : première étude de cas : les fonctions de nutrition chez l'homme (débat scientifique dans une classe de 3^e).
- Chapitre 5 : deuxième et troisième étude de cas : l'évolution et le concept d'ancêtre commun (évolution : débat scientifique dans une classe de 1^{re} ES ; ancêtre commun : débat scientifique dans un groupe d'étudiants préparant la troisième épreuve écrite du concours de recrutement de professeur des écoles, majeure *Sciences expérimentales et technologie*).

Figure 3-1. Méthodologie mise en œuvre pour les études de cas



Chapitre 4. PREMIÈRE ÉTUDE DE CAS : LES FONCTIONS DE NUTRITION

Chapitre 4. PREMIÈRE ÉTUDE DE CAS : LES FONCTIONS DE NUTRITION	167
Introduction : la nutrition au cœur de la biologie fonctionnaliste	168
1. Les fonctions de nutrition : analyse préalable dans le cadre de la problématisation	171
1.1. La nutrition : plusieurs familles de problèmes	171
1.2. Une étude cas : la nécessité de transformation dans les différentes familles de problème	173
1.3. Conclusion	189
2. La nutrition chez l'homme en classe de 3^e : une problématisation scolaire	190
2.1. Le dispositif d'enseignement-apprentissage	190
2.2. Analyse du processus de problématisation	192
3. Discussion	242
3.1. La structure des explications produites	242
3.2. La dynamique de construction de l'explication	249
3.3. Les raisonnements et argumentations des élèves	254
4. Conclusion	262

Introduction : la nutrition au cœur de la biologie fonctionnaliste

Le travail sur la fonction de nutrition nous a semblé intéressant à conduire pour cette étude car ce thème nous semble emblématique de la biologie fonctionnaliste d'une part, et des travaux sur la problématisation, d'autre part.

1/ Les fonctions de nutrition chez les animaux : présentation

Les explications concernant la fonction de nutrition renvoient principalement à deux types d'explications : des explications mécanistes¹ et des explications physique non-causales² pour reprendre la typologie de Morange (2005) présentée dans le chapitre 1 (section 3.1.), qui s'articulent à chaque étape pour rendre compte des différents processus physico-chimiques qui assurent la fonction de nutrition. Ainsi, chez le lapin et l'homme qui constituent les modèles biologiques de cette étude, on peut rapidement présenter les grandes étapes de la nutrition³ :

- première étape : prélèvement des macromolécules alimentaires spécifiques prélevées dans le milieu extérieur et transformations dans le tube digestif par l'action des enzymes digestives, facilitées par les actions mécaniques de la digestion (trituration, broyage, tri). Cela conduit à la formation de nutriments, petites molécules non-spécifiques.

- deuxième étape : l'absorption intestinale correspond au passage des nutriments dans le sang au niveau des microvillosités de l'intestin grêle par des mécanismes complexes. Le sang, mis en circulation par le fonctionnement cardiaque dans des vaisseaux sanguins qui assurent son endiguement, permet la distribution des nutriments à chaque cellule (par l'intermédiaire d'un milieu intérieur)⁴ ;

- troisième étape : l'utilisation des nutriments par les cellules pour couvrir deux types de besoins : « *permettre le renouvellement des molécules constitutives de l'organisme et apporter les matériaux de base nécessaires aux synthèses dont il est le siège (anabolisme)* » et « *couvrir les dépenses énergétiques liées au fonctionnement*

¹ Elles correspondent à l'« *établissement d'une chaîne de causalité, dont chaque maillon correspond à une interaction entre une ou quelques molécules* » (Morange, 2005, p. 51).

² Les explications de type physique non causal se distinguent de l'explication de type mécaniste du fait que, dans ce cas, « *le temps, en tant que succession d'événements, n'intervient pas* » (*ibid.*, p. 95).

³ Nous ne traiterons pas cette question du point de vue de la diversité des modalités de la nutrition animale retenues au cours de l'évolution.

⁴ Nous n'aborderons pas la question des régulations.

cellulaire lui-même ou corrélatives de la production, par l'animal lui-même, d'autres formes d'énergie (locomotion, production de chaleur...) » (Turquier, 1989, p. 3). Ainsi la transformation des macromolécules alimentaires fournit les molécules chimiques simples non spécifiques (comme le glucose, les acides aminés, les acides gras, par exemple) qui sont utilisées, à la fois, pour la synthèse des constituants spécifiques et pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement cellulaire par les voies du catabolisme (respiration cellulaire qui nécessite la présence de dioxygène ou voies fermentaires en absence de dioxygène).

Les deux premières étapes conditionnent les réactions biochimiques qui assurent la préservation de l'intégrité biochimique et fonctionnelle de l'organisme. Ainsi, la transformation des aliments en nutriments est nécessaire pour permettre le passage des nutriments dans le sang et dans la cellule, mais surtout pour que les cellules puissent mobiliser ces nutriments dans des réactions biochimiques. La distribution assure l'approvisionnement en dioxygène et en nutriments de chaque cellule. Comme le dioxygène et les nutriments sont prélevés dans le milieu extérieur et que, chez les animaux étudiés, la distance entre chaque cellule et le milieu extérieur est très importante (et ne permet plus des échanges par simple diffusion entre cellule et milieu extérieur), cela nécessite un système de distribution qui assure cet approvisionnement⁵. Dans le cas du lapin et de l'homme, la distribution s'effectue par un double circuit clos (le sang contenu dans les vaisseaux sanguins est endigué) mais ce circuit n'est pas étanche puisque des échanges entre le sang et le milieu extérieur, d'une part, et entre le sang et chaque cellule, d'autre part, se réalisent au niveau des surfaces d'échanges (alvéoles pulmonaires, villosités intestinales, réseaux capillaires). La ventilation respiratoire ou le trajet discontinu⁶ des nutriments dans le tube digestif assure la présence renouvelée de dioxygène et de nutriments au niveau des surfaces d'échange.

Alors que les transformations chimiques des aliments en nutriments est une nécessité chez tous les animaux, on peut trouver, chez les animaux les plus simples, une nutrition sans distribution par un double circuit sanguin clos.

2/ Les fonctions de nutrition : un classique de la didactique de la biologie

Les débats sur la nutrition humaine sont à l'origine du développement du cadre théorique de la problématisation en SVT. Ainsi, on trouve l'analyse de deux débats sur la nutrition humaine dans l'*Habilitation à diriger des recherches* de Christian

⁵ « Les conditions de la convection interne dépendent, dans une large mesure, du niveau de complexité anatomique des animaux et, plus particulièrement, de leur degré de compartimentation » (Turquier, 1994, p. 137).

⁶ Les régulations diverses assurent un pool constant de nutriments dans le plasma.

Orange (2000). Pour ce qui nous concerne, nous avons commencé à développer des analyses épistémologiques et langagières sur ce thème pour notre mémoire de DEA (Lhoste, 2004a). Cela a conduit à une communication et un article (Lhoste, 2004b, 2005a). Nous avons poursuivi nos recherches sur ce thème à travers une communication et deux articles (Lhoste 2005b, 2006 ; Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009). C'est l'ensemble de ces travaux, repris sous la forme d'analyses épistémologico-langagières, et de nouvelles analyses que nous allons présenter.

Cette première étude de cas devra nous permettre :

a/ de mettre à l'épreuve certaines propositions faites dans le chapitre 1, pour faire avancer le cadre de la problématisation dans le champ de SVT, à partir d'une analyse préalable sur l'exemple de nutrition chez le lapin. Cette première étude, outre le fait qu'elle nous servira également à contrôler les interprétations du b/, vise une élucidation théorique des relations entre problématisation, problème et obstacles ;

b/ de mettre en œuvre la méthodologie d'analyse présentée au chapitre 3 pour suivre le travail langagier et épistémique des élèves afin de mieux comprendre le processus de problématisation autour de l'explication de la nutrition.

I. Les fonctions de nutrition : analyse préalable dans le cadre de la problématisation

I.1. La nutrition : plusieurs familles de problèmes⁷

Sur le thème de la nutrition, on peut repérer deux familles de problèmes récurrents qui peuvent chacune se présenter sous des formes et des formulations différentes selon les niveaux d'enseignement.

Les premiers tournent autour de problèmes d'absorption et de distribution : les aliments ou nutriments doivent quitter d'une façon ou d'une autre le tube digestif pour atteindre les différentes parties de l'organisme. Notons que ce problème ne peut émerger que si les élèves envisagent la nécessité d'un apport de nutriments à tous les organes / à toutes les cellules de l'organisme. Si les élèves envisagent la nutrition comme un simple passage des aliments dans le corps ou comme une simple accumulation des aliments dans une poche, les problèmes d'absorption/assimilation ne se posent pas. Si les aliments doivent aller dans tout le corps pour donner des forces à tous les organes/toutes les cellules, comment cela est possible s'ils transitent dans un tube dont on ne voit pas de bifurcation ? Puis se posera la question des conditions qui pourront permettre la sortie des nutriments du tube digestif.

Les seconds concernent le problème de l'assimilation : comment l'homme peut-il produire sa propre matière à partir des aliments d'origine variée qu'il consomme ?

Comme nous l'avons déjà précisé (chapitres 1 et 3), dans les travaux récents sur la problématisation dans l'équipe de didactique des SVT du CREN, l'idée de problème était minorée et il était souvent difficile d'identifier le problème en jeu dans les problématisations scolaires. Ainsi dans le cadre des problématisations concernant la nutrition humaine, alors que nous avons à notre disposition des « *espaces-problèmes* » (Fabre, 1999) sous d'« espaces de contraintes » en jeu dans des débats scientifiques en classe, espaces qui déterminent les conditions de possibilité des solutions au problème, le problème ou la tension fondamentale au cœur du concept n'est pas clairement identifiable. Comme le précisent Deleuze et Guattari « *tout*

⁷ Ce paragraphe reprend une recherche réalisée avec Brigitte Peterfalvi ayant donné lieu à une communication (Lhoste & Peterfalvi, 2008).

concept renvoie à un problème, à des problèmes sans lesquels il n'aurait pas de sens » (1991/2005, p. 22). Quel(s) est (sont) le(s) problème(s) du concept de nutrition ?

Nous pensons que l'on peut parler de problème à partir du moment où, dans les explications d'un phénomène (biologique ou géologique), la mise en relation (en articulation, en tension...) d'éléments de savoir ne va pas de soi, semble contradictoire ou paradoxal. De là naît quelque chose de l'ordre de l'énigme, un appel à poursuivre l'effort d'explication : un problème. Sur le plan psychologique, cela correspond à un conflit, sur le plan épistémique, à un problème⁸. La « *position du problème* » (Fabre, 1999 ; Beorchia, 2004), correspond à cette phase de repérage de ce qu'il y a à résoudre. La formulation du problème, dans cette phase, pourrait correspondre à la formulation de ces incompatibilités et de l'intention de les réduire. La problématisation, dans les phases ultérieures de construction, conduit à reformuler le problème de façon de plus en plus précise, au fur et à mesure que les contraintes sont explicitées et qu'on en infère des possibles et des nécessaires.

C'est à partir de ces questions que nous allons, dans cette première partie, conduire une analyse préalable. Ainsi, nous chercherons à formuler plus précisément ces problèmes et à les articuler aux obstacles avec lesquels ils interfèrent. On regardera comment certaines nécessités peuvent apparaître dans ces problèmes à différents niveaux d'enseignement, ce qui nous conduira à identifier un certain nombre de « feuillets » qui correspondent à des formulations différentes des nécessités autour de mêmes problèmes fondamentaux. On pourra voir aussi des bifurcations vers des problèmes d'autre nature, dans certains enchaînements problématiques.

Pour cela, nous nous appuierons :

- sur un exemple, du point de vue du support de notre analyse. L'exemple choisi concerne une nécessité régulièrement construite dans les débats sur le thème de la nutrition : celle de transformation. Comme l'a montré Orange (2005, à partir de Canguilhem, 1969)⁹, la nécessité de transformation peut renvoyer à deux

⁸ « *En grec, la délimitation du terme [problème] s'effectue sur trois réseaux sémantiques : celui de l'initiative et du projet (proballein : se jeter en avant) ; celui de l'interposition ou de l'obstacle (problema : ce qui est placé là devant, le bouclier) ; enfin celui de la "saillance" ou de son significatif (problema : le promontoire, la saillie)* » (Fabre, 1999, p. 11-12).

⁹ « *La transformation des aliments dans le tube digestif est évidente : cela se voit. Mais ce n'est pas suffisant pour en faire un savoir scientifique : ce pourrait être un épiphénomène, une conséquence sans signification biologique du changement de milieu de cette nourriture ingérée. Ce constat d'une transformation renvoie alors à deux questions critiques : comment cette transformation est-elle possible ? Et surtout : pourrait-il en être autrement ? Cette seconde question a reçu depuis longtemps (au moins depuis Galien, I^e siècle) une réponse : pour que la*

problèmes différents : celui de l'absorption / distribution des nutriments aux organes, celui de l'assimilation ;

- sur un corpus conséquent de travaux de recherche consacrés à ce sujet qui ont développé des analyses épistémologiques fouillées (Orange, 1994a ; Ducros, 1996 ; Goix, 1996 ; Peterfalvi, 2001) que nous ne pouvons reprendre dans le détail.

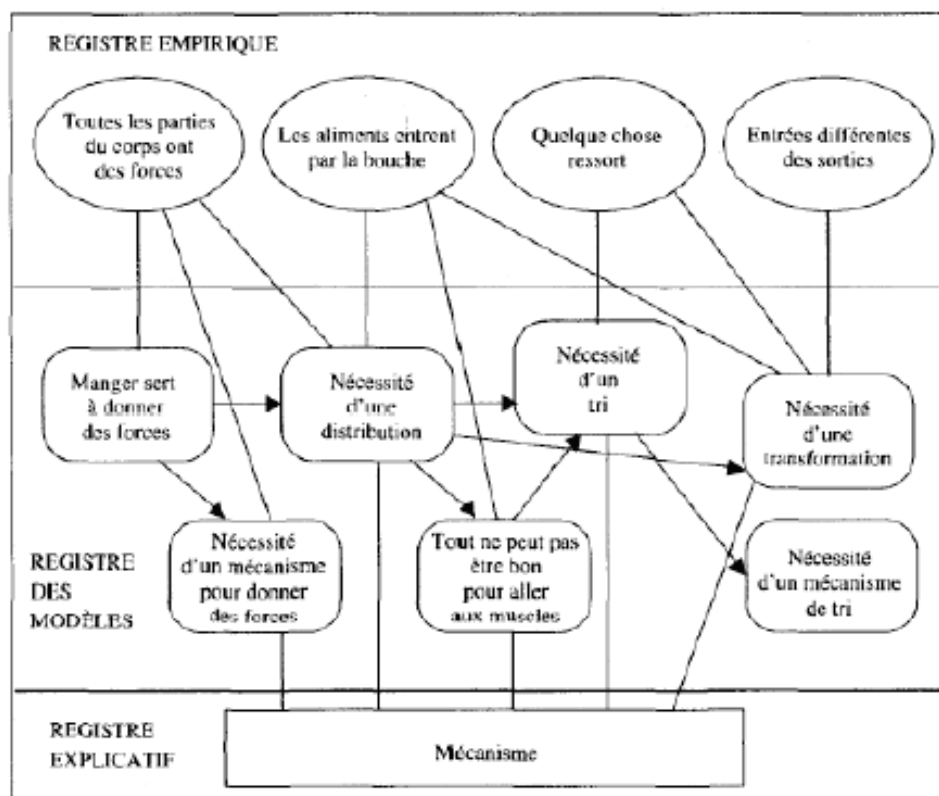
1.2. Une étude cas : la nécessité de transformation dans les différentes familles de problème

1.2.1. La nécessité de transformation dans un débat en cycle 3

Dans l'« espace de contraintes » en jeu dans un débat présenté à la figure 4-1, proposé par Orange (2003) pour rendre compte du problème construit par des élèves de cycle 3 (7-10 ans) confrontés à la question suivante : « *Comment ce que j'ai mangé peut-il me donner des forces ?* », nous voyons apparaître la nécessité de transformation.

nourriture puisse passer dans le système sanguin, elle doit être transformée, ce qui donne une fonction à cette transformation. La première question peut alors être pensée dans les cadres théoriques de l'époque : iatomécaniciens versus iatrochimistes (XVIII^e siècle) ; chimie au XIX^e siècle. Les expériences de Réaumur et de Spallanzani⁹ (XVIII^e siècle) montrent alors que les transformations physiques (la trituration) ne sont pas les seules à intervenir. Cependant, les transformations chimiques prennent leur totale signification non pas dans cette évidence empirique, mais dans la nécessité, pour que l'assimilation soit possible, de former les mêmes nutriments à partir d'aliments variés ; cette nécessité n'est vraiment construite qu'au XIX^e siècle » (Orange, 2005, p. 76-77).

Figure 4-1. Espace de contraintes en jeu dans un débat sur la nutrition humaine en cycle 3 (Orange, 2003, p. 88)



La nécessité de transformation est construite dans les interventions suivantes des élèves.

300 – Steven1 : Si tu regardes des excréments par rapport à de la nourriture, tu verras que ce sera pas...
 302 – Maître : Steven, qu'est-ce que ça prouve ?
 303 – Steven 1 : ça prouve quand même que c'est l'estomac aussi qui broie tout. Après l'estomac, il broie tout... Toutes les vitamines, elles partent dans les muscles et puis après, ben, tout ce qui est mauvais xxx dans l'estomac.
 304 – Maître : Clément ! Quelque chose à dire sur ce qu'a dit Steven ? Non ? On se calme un petit peu ! Steven ?
 305 – Steven 2 : Ben Steven il dit que c'est les vitamines qui vont dans le muscle et eux (montre le tableau) que tout est broyé et que après les aliments y vont dans les muscles. Ils disent pas que c'est les vitamines. »

Cette nécessité de transformation apparaît sous deux figures différentes : pour la première, le simple constat de la sortie différente de l'entrée, à condition de sous-entendre l'existence d'un conduit continu, implique (logiquement) une transformation. C'est ce raisonnement qui permet d'articuler les contraintes « *les aliments entrent par la bouche* », « *quelque chose ressort* » « *entrées différentes des sorties* » à la « *nécessité d'une transformation des aliments* » (formulations figurant

dans l'espace de contraintes) et qui apparaît dans la formulation 300 et le début de 303. C'est une nécessité dont la construction n'est pas directement liée à un problème. Elle n'a pas, en tant que telle, de signification biologique. Mais dans la suite de la formulation de Steven en 303, on peut voir un couplage, qui reste implicite ici, entre la nécessité de transformation et celle du tri. Ainsi, les sorties sont non seulement différentes des entrées, mais la nature de cette différence n'est pas indifférente : ce qui sort est mauvais. La transformation opérée serait confondue avec l'opération de tri. La nécessité construite a, cette fois, une signification biologique dans un problème de nutrition.

Dans un premier temps, la construction de cette nécessité a bien à voir avec un problème puisqu'il y a, au sein de la classe, plusieurs réponses entre lesquelles on a à choisir (il y a un conflit). Cependant, comme cette nécessité reste isolée, nous nous demandons avec quel problème elle est en relation du point de vue de la dimension épistémique du problème (entendue comme repérage et travail des tensions caractéristiques du savoir en jeu).

Dans un second temps, la nécessité de transformation est reliée à celle de tri, il pourrait y avoir une énigme, un paradoxe¹⁰ : si l'on considère le tube digestif comme un tube continu sans bifurcation (les aliments ne faisant que traverser l'organisme), le fait que quelque chose doit quitter le tube digestif (le bon, dans le processus de tri) est alors un paradoxe. Comment cela est-il possible, puisque *a priori*, cela semble impossible. En ce sens, il peut s'agir là de l'amorce d'un problème qui met au travail une tension constitutive du savoir en jeu : il y a alors recouvrement entre les dimensions psychologiques et épistémiques du problème. La valorisation bon/mauvais, qui se constitue en obstacle pour bon nombre de problèmes, n'en est pas un ici. Il sert d'outil pour la construction de ce modèle sans doute nécessaire pour arriver à des modèles plus élaborés. C'est un marchepied pour interroger le devenir de ce bon séparé du mauvais et conservé dans l'organisme. Quoi qu'il en soit, il s'agit de la construction d'un modèle qui sera nécessaire pour que les autres problèmes de nutrition puissent se poser.

¹⁰ Pour un élève : problème dans le sens psychologique. Pour la classe : problème dans le sens d'un conflit.

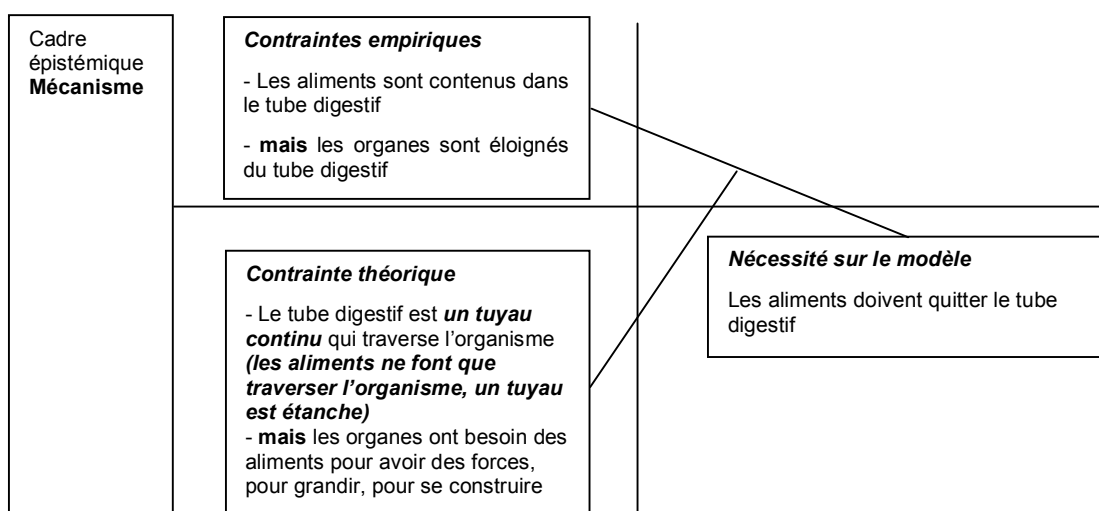
1.2.2. La nécessité de transformation dans des problèmes de distribution

Dans un premier temps, nous allons nous intéresser à la place de la nécessité de transformation dans des problèmes d'absorption / distribution. Nous traiterons de ses relations avec le problème de distribution dans la section 1.2.3.

Nous allons nous placer du point de vue supposé d'élèves de fin de primaire ou début du collège, pour lesquels des études¹¹ ont montré qu'ils conçoivent les conduits biologiques (vaisseaux sanguins, tube digestif) comme des tuyaux continus à paroi imperméable. Si la question de l'approvisionnement en nutriments d'un organe éloigné du tube digestif se pose (à chaque élève ou au sein de la classe), l'étanchéité du tube digestif engendre une impossibilité de répondre de façon immédiate et évidente, puisqu'il n'y a pas d'autre voie pour atteindre les organes.

L'« espace contraintes et nécessités » de la figure 4-2 représente un premier niveau de formulation du problème de distribution.

Figure 4-2. Un premier niveau de formulation du problème de la distribution pour des élèves de cycle 3 et de début de collège : espace « contraintes et nécessités »



Dans la figuration proposée, les deux contraintes empiriques (les aliments sont contenus dans le tube digestif ; les organes sont éloignés du tube digestif) et la contrainte théorique (les organes ont besoin de quelque chose pour avoir des forces)

¹¹ Giordan & De Vecchi (1987); Clément (1991).

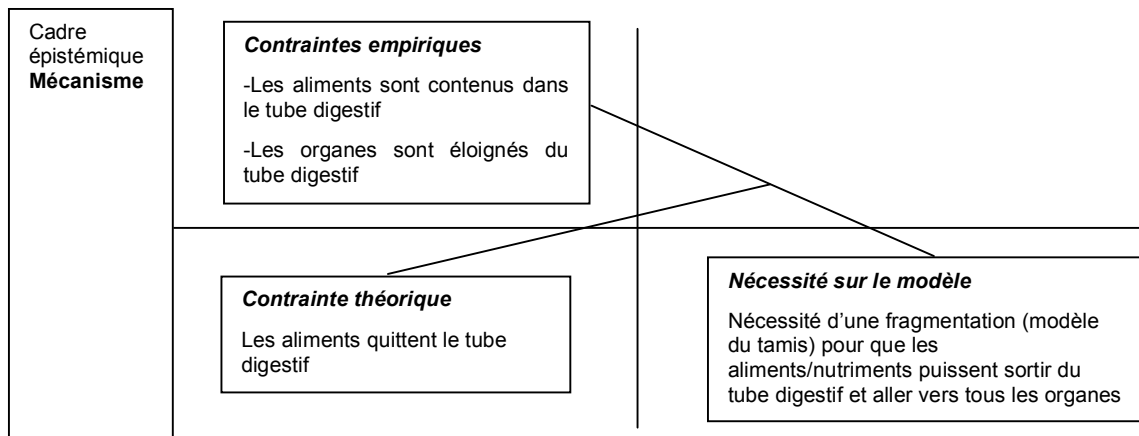
fondent la nécessité sur le modèle, la première contrainte théorique va à l'encontre de cet ensemble d'idées puisque le tube digestif est un tuyau continu imperméable.

L'obstacle « *tuyau continu à paroi imperméable* », responsable de la difficulté à concevoir « *des conduits biologiques dont la paroi est perméable, et dont la fonction essentielle est liée à cette perméabilité* » (Clément, 1991, p. 53), est identifié de longue date en didactique de la biologie. On peut y voir une projection de l'expérience quotidienne : les tuyaux utilisés habituellement sont étanches (ou alors c'est un défaut). Mais cet obstacle correspond aussi à l'actualisation d'obstacles plus généraux comme le primat de la perception, avec une conception du microscopique à l'image du macroscopique¹². Il est important de noter que cet obstacle, s'il est explicite, est à l'origine du problème en tant que tel. C'est de l'idée qu'il porte que naît le paradoxe, donc le problème. C'est une condition de son émergence. En empêchant une résolution simple et rapide de ce paradoxe, il permet de rendre le problème saillant mais il constitue, en même temps, une « *anticondition* » à sa résolution (Peterfalvi, 2005). Il aura donc à être déconstruit. On devra construire une nouvelle nécessité inverse de cette contrainte préalable : le tube digestif ne peut pas être continu ou étanche. Ces ensembles d'idées, qui font partie des contraintes théoriques (admises comme telles a priori), ont un statut particulier (pour cette raison, nous les faisons figurer en italique gras dans notre espace). Le résultat de la problématisation est de les renverser. Bien que non discutées a priori, elles ont vocation à être remises en question.

Au sein de ce problème, la nécessité de transformation peut-être considérée comme une condition de possibilité de l'absorption/distribution. Cette articulation entre la nécessité de transformation et un problème d'absorption/distribution est à l'œuvre dans l'exemple emprunté à Orange (2003). Tentons de formaliser cette nécessité de transformation dans un problème de distribution au sein d'un « espace contraintes et nécessités » (figure 4-3), toujours du point de vue d'élèves de cycle 3 ou de début de collège.

¹² Envisager des structures biologiques (ou autre) qui ont simultanément deux fonctions qui peuvent paraître contradictoires est également en rupture avec la pensée commune.

Figure 4-3. La nécessité de transformation dans un problème de distribution. Espace « contraintes et nécessités » de niveau I (cycle 3 – début de collège)



En fonction du contexte problématique, « les aliments quittent le tube digestif » peut être considéré comme une « nécessité sur le modèle » (c'est le cas dans le problème précédent) ou comme une « contrainte théorique » si l'on considère cette « nécessité » comme établie et désormais non discutée. Il y a un enchaînement ou un enchevêtrement de problèmes : cette « nécessité » est d'abord construite en tant que telle et joue ensuite le rôle de « contrainte » pour établir la nécessité de transformation¹³. C'est parce que la distribution est nécessaire que le problème de l'absorption peut se poser. Ainsi, la nécessité de transformation est incluse dans un processus de problématisation autour de la distribution des aliments.

C'est un modèle mécanique, celui du tamis, qui peut permettre de construire le problème. Ce modèle, qui nécessite une transformation mécanique (une fragmentation), vient renforcer l'évidence empirique du broyage des aliments par les dents. Il évite de penser à une digestion de nature chimique, puisqu'il suffit à résoudre le problème tel qu'il se présente à ce stade d'élaboration. En ce sens, il peut faire obstacle car il permet de conserver intacts les obstacles fondamentaux du primat de la perception et de la conception du microscopique à l'image du macroscopique, mais c'est une condition pour trouver une solution à ce niveau d'élaboration du problème : ce modèle est provisoirement satisfaisant pour penser le départ des aliments vers les organes.

Toutefois, celui-ci ne permet pas de rendre compte du caractère fonctionnel du départ des aliments du tube digestif (et du tri), par rapport à la nutrition : comment la

¹³ La nécessité de tri (sans bifurcation de tuyaux) peut également trouver une solution dans le modèle du tamis qui implique une fragmentation.

partition « grand / petit » impliquée dans ce modèle s'articule avec la partition « bon / mauvais », que nous avons vue à l'œuvre dans l'exemple issu du débat à l'école primaire pour fonder la nécessité de tri ? On entrevoit bien là sinon une sorte de discordance, du moins une lacune dans l'explication. D'où l'émergence possible d'un nouveau problème.

Ainsi, c'est parce que cette question de la transformation sera mise en relation avec un autre problème, celui de l'assimilation que l'on pourra passer à un deuxième niveau d'élaboration du problème. Nous ne développerons pas les niveaux d'élaboration plus élevés de cette nécessité de transformation liée aux problèmes d'absorption, pour consacrer davantage d'espace aux problèmes liés à l'assimilation, pour lesquels la nécessité de transformation intervient de façon plus directe. Cela nous permettra de regarder de façon précise comment une même famille de problèmes peut apparaître différemment selon les niveaux scolaires et les connaissances disponibles. D'un point de vue curriculaire, les fonctions de nutrition sont au programme du cycle 2, du cycle 3, de la classe de 5^e et de 3^e alors que l'assimilation est uniquement au programme de la classe de 3^e. Cela pose la question du traitement de la nutrition dans les petites classes et de la non-accessibilité des élèves de ces classes à ce problème en termes physico-chimiques.

1.2.3. La nécessité de transformation dans des problèmes d'assimilation

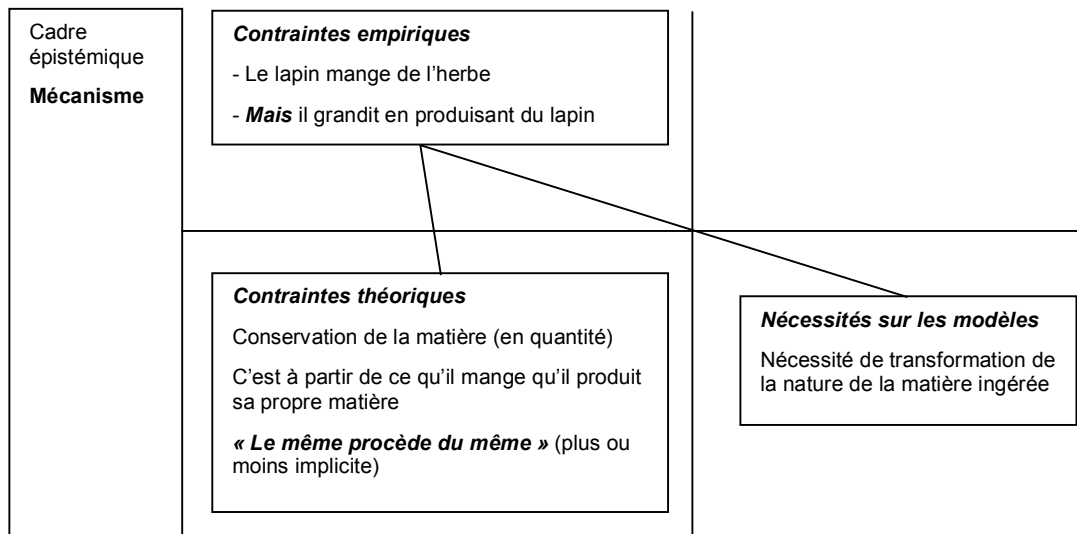
Le problème d'assimilation peut être formulé, pour des élèves du cycle 3, de la façon suivante « *comment le lapin, pour grandir et produire sa propre matière, produit-il du lapin à partir d'herbe ?* ».

À partir de ce que l'on connaît des représentations des élèves sur cette question d'assimilation (Goix, 1996, 1997 ; Zonca, 2001), nous allons tenter de construire et de distinguer différents niveaux d'élaboration possibles de ce problème et les examiner d'un point de vue curriculaire. Ainsi, il y a une relation d'ordre entre ces différents niveaux d'élaboration, même s'il est difficile de les référer très précisément à des programmes scolaires. Le premier « feuillet » pourrait être accessible, dans une certaine mesure, au niveau de l'école primaire, en cycle 3. L'« espace contraintes et nécessités » servira à discuter cette possibilité.

1.2.3.1. Un premier niveau d'élaboration du problème d'assimilation

La figure 4-4 présente la nécessité de transformation dans l'espace « contraintes et nécessités » de ce premier niveau d'élaboration du problème d'assimilation.

Figure 4-4. La nécessité de transformation dans un problème d'assimilation. Espaces « contraintes et nécessités » niveau I (cycle 3)



Regardons tout d'abord ce qui figure dans les cases de gauche, celles qui sont de l'ordre des préalables non discutés, mais sur lesquels s'appuie la construction du problème.

1/ Le fait que le lapin mange de l'herbe est connu et partagé à ce niveau scolaire. On n'en discute pas, mais on peut mobiliser cette idée.

2/ Le fait que quand lapin grandit, il produise du lapin est accessible aussi et constitue presque une lalalissade.

3/ L'idée que « c'est à partir de ce qu'il mange qu'il produit sa matière » l'est nettement moins. Cette idée suppose :

- une certaine idée de conservation de matière (en quantité)
- que soit surmonté un obstacle lié au vitalisme qui consiste à penser que le vivant croît par nature sans nécessité d'ajout de matière, que cela constituerait une spécificité de la matière du vivant (Orange, 1994a ; Goix, 1997, p. 151). Cette idée peut-être présente pour cette tranche d'âge, même si elle n'est évidemment pas partagée par tous les élèves comme le montrent les travaux de Goix avec des élèves de sixième à propos de la nutrition des végétaux (1996).

Il nous semble qu'il s'agit d'une condition pour que le problème puisse être posé dans le sens d'un problème d'assimilation (au niveau épistémique). En effet, si l'idée que « *on mange cela sert à quelque chose* »¹⁴ (même sans idée de conservation), ce n'est pas nécessairement lié à la croissance vue comme une production de sa propre matière (les hommes adultes mangent et ne grandissent pas) : cela peut simplement servir pour que les organes aient des forces, de l'énergie. Dans ce cas, au niveau épistémique, le problème construit à partir de l'idée que « *si on mange, cela sert à quelque chose* » renvoie au problème d'absorption/distribution : « comment faire pour apporter aux organes, à partir de ce que l'on mange, ce dont ils ont besoin pour avoir des forces, de l'énergie... ».

4/ L'idée que « le même procède du même »¹⁵ dont Goix a souligné la persistance (1996) est de l'ordre du théorique.

Regardons maintenant la case qui correspond aux nécessités susceptibles d'être construites. Si les différentes contraintes sont admises¹⁶ (le lapin mange de l'herbe ; il grandit en produisant du lapin ; c'est à partir de ce qu'il mange qu'il produit sa propre matière) et que, par ailleurs, intervient l'idée implicite que « le même procède du même », les deux propositions de la case du haut deviennent incompatibles (d'où le « *mais* » qui les sépare). On est face à un paradoxe, un problème peut être posé (par l'individu, par la classe) : si le lapin mange autre chose que du lapin (surtout de l'herbe qui ne contient ni os, ni poil), comment se fait-il qu'il produit du lapin, ce qui est *a priori* impossible, puisque « le même procède du même ».

La nécessité de transformation, c'est un moyen de sortir du paradoxe et de construire le problème. De plus, une solution d'évidence peut être mobilisée pour traduire cette nécessité de transformation : une transformation mécanique directement observable au niveau de la bouche. Il existe là, un risque d'arrêt de la pensée dans la construction-résolution de ce problème : il réside en la mobilisation de l'idée de transmutation, entendue comme des transformations possibles sans

¹⁴ Idée partagée par les élèves dès le primaire à partir de laquelle ils peuvent s'engager dans des questions autour de la nutrition.

¹⁵ L'os provient de l'os, le sang provient du sang, la graisse de la graisse... Pour illustrer le propos, voilà une intervention d'une élève de 3^e recueillie par Goix : « *La croissance se fait par addition de molécules aux molécules qui constituent nos organes. On nous dit toujours : il faut bien manger pour grandir ; donc les molécules de viande et les morceaux de "légumes" d'additionnent avec les molécules que nous avons déjà : les molécules de lait, favorisent la croissance des os, donc, les molécules vont s'additionner à nos molécules d'os. Pour les muscles c'est pareil, les molécules de "viande" (des muscles) s'ajoutent à nos molécules de muscle* » (1997, p. 24).

¹⁶ En dehors de toute situation de classe particulière, on ne peut être sûr que toutes ces contraintes seront construites, mais c'est vraisemblable qu'elles puissent l'être (des études de cas seront nécessaires pour avancer sur cette question). Nous pensons que c'est une condition pour que ce problème-là se pose (d'autres problèmes peuvent être construits, notamment ceux d'absorption/distribution).

contrainte, ni condition, qui empêche, en la résolvant d'emblée, toute explication de la transformation. Elle écrase le problème (dans la physiologie de Galien, la nourriture se transforme en sang dans le foie et « *les différentes parties du corps transforment, par contact, le sang en une matière identique à celle dont elles sont composées* » [Pichot, 1993, p. 176], grâce à un ensemble de facultés naturelles des organes). C'est l'obstacle symétrique à celui qui consiste à penser que le « même procède du même », où l'identité des substances est conservée envers et contre tout.

Il convient de noter que l'obstacle « le même procède du même » est lié de deux façons différentes à ce niveau d'élaboration du problème : c'est parce qu'il est là que le problème se pose. Sinon, rien d'étonnant, aucune incompatibilité, rien à chercher. Mais le problème d'assimilation ne peut être construit et résolu (à ce niveau) que par une proposition qui dépasse cet obstacle (il y a une nécessité de transformation de matière, il ne peut en être autrement). D'où un retour sur cette contrainte préalablement admise, mais remise en question par les raisonnements qu'elle a elle-même suscités. On est dans un cas de figure similaire à celui noté à propos des problèmes de distribution – absorption : le tube digestif est considéré comme continu et imperméable, mais les aliments doivent pouvoir atteindre les organes : la contradiction peut générer un problème d'absorption-distribution. Pour s'engager dans la construction de ce problème, il faudra envisager de remettre en cause la continuité et/ou la perméabilité du tube digestif.

Comme pour le problème relatif à la distribution/absorption au degré d'élaboration 1, nous avons laissé la case du haut vide : en effet, ce niveau de construction du problème n'aboutit à aucune nécessité précise sur le plan empirique. Elle ne dit rien de précis sur la nature de la transformation nécessaire.

On peut s'interroger sur la pertinence de s'engager dans le questionnement sur la nature de la transformation, au niveau de l'école primaire, puisqu'on peut juger qu'on ne peut guère aller plus loin à ce niveau scolaire : pour cela, en effet, on peut penser qu'il est indispensable d'entrer dans le domaine de la chimie. Cependant, sans entrer dans la chimie (ce qui nécessite le passage d'un modèle homogène de la matière à un modèle hétérogène de la matière avec deux niveaux d'hétérogénéité : molécules et atomes), on peut penser cette transformation avec un modèle hétérogène de la matière à un niveau d'hétérogénéité¹⁷. Cela peut se traduire concrètement par des formulations en termes de séparation (par des transformations uniquement mécaniques) des différents constituants d'un mélange que constitueraient la nourriture (par exemple en termes de protides, lipides, glucides, eau et sels minéraux,

¹⁷ On réinterroge par cette voie le travail de la recherche INRP *Recherche sur les objectifs-obstacles et les situations d'apprentissage* (ROOSA, Peterfalvi, 1992), dont certains articles des numéros 24 et 25 de la revue *Aster* sont issus (*Aster*, 1997a, 1997b).

ou simplement en pastilles de plusieurs couleurs) dont une recombinaison différente pourrait permettre de constituer une nouvelle matière (Burger, 1995 ; Goix, 1997). Si la matière herbe est constituée de plusieurs matières plus élémentaires, on peut concevoir que la matière lapin, constituée autrement (dans des proportions différentes, par exemple) des mêmes matières élémentaires, puisse en provenir, sans introduire les concepts de la chimie. Il est à noter qu'un modèle particulière à un seul niveau d'hétérogénéité est loin d'être évident : il se heurte à l'obstacle qui fait concevoir le microscopique à l'image du macroscopique, lié à l'expérience sensible. Des amorces de construction d'un tel modèle, dès le cycle 3, sont sans doute possibles à propos de la nutrition : les tableaux de composition des aliments dans le commerce vont dans ce sens. On peut également trouver une telle amorce dans les propositions des élèves séparant dans la nourriture le « bon » et le « mauvais ».

Il y a donc deux issues à ce premier niveau de formulation du problème : une solution en termes de transformations faciles sans condition, sans contrainte, qui annihile le problème, et une solution, du type de celle que nous venons d'évoquer, qui utilise une recombinaison de la matière, avec une conservation de parties élémentaires. Quoiqu'il en soit, on reste sur une « semi solution », mais cela n'est sans doute pas sans intérêt : la construction d'un tel problème, basique pourrait-on dire, peut être gardée en mémoire et constitue une structure d'accueil pour les feuillets suivants d'élaboration du problème susceptibles d'être abordés au niveau du collège, puis du lycée.

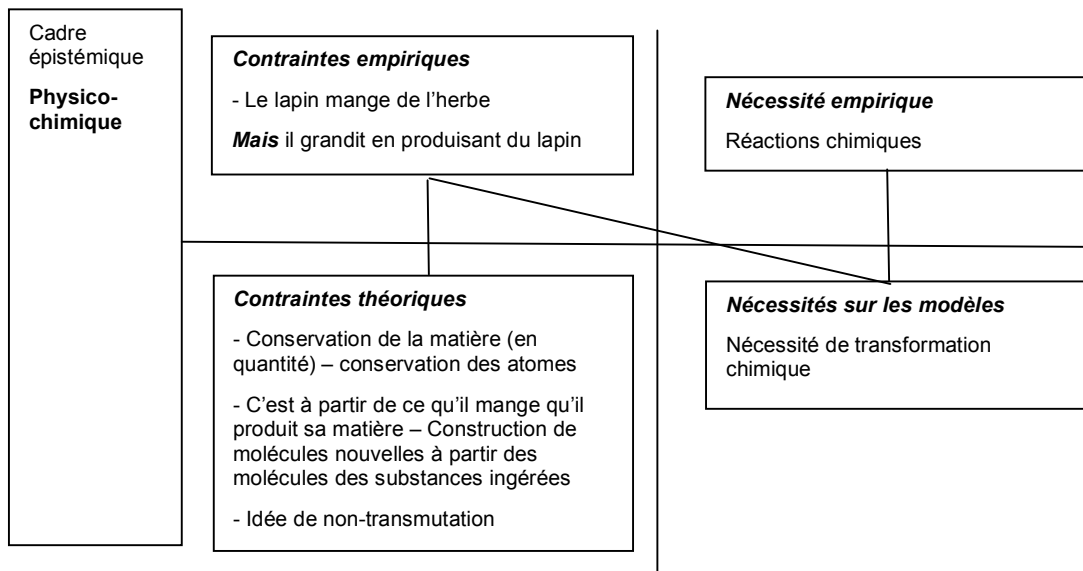
1.2.3.2. Un deuxième niveau d'élaboration du problème d'assimilation

Dans le premier niveau de formulation du problème, la nature de la transformation n'est pas interrogée. La distinction entre ce deuxième niveau d'élaboration du problème et le premier réside sur le passage d'un modèle de la matière homogène (ou d'un modèle de la matière hétérogène à un niveau) à un modèle de la matière discontinu et hétérogène à deux niveaux. Ce passage nécessite des transformations dans le cadre épistémique (il conviendra de discuter le cas particulier de la question du mélange qui repose sur un modèle discontinu à un seul niveau d'hétérogénéité de la matière).

Ainsi, pour pouvoir formuler le deuxième niveau d'élaboration du problème, de nouveaux éléments vont devoir intervenir dans notre espace « contraintes et

nécessités ». La figure 4-5 présente un deuxième niveau d'élaboration de ce même problème.

Figure 4-5. La nécessité de transformation dans un problème d'assimilation. Espaces contraintes et nécessités niveau 2 (lycée)



Fondamentalement, le sens du problème n'est pas différent du précédent. Mais c'est d'une autre élaboration, dans un autre champ disciplinaire (celui de la chimie en l'occurrence) et dans un problème autre que celui de la nutrition, que l'idée de non-transmutation peut être construite. Elle peut alors devenir une condition de possibilité de la position-formulation de ce deuxième niveau d'élaboration du problème d'assimilation. Le problème provient du fait que le lapin doit fabriquer sa propre matière à partir de substances qui sont différentes de la sienne. Cela devient paradoxal si on croise cette idée avec celle de non-transmutation puisque l'herbe ne peut plus se transformer, sans condition, en substance lapin (la non-transmutation n'appelle pas directement les transformations chimiques comme nous l'avons vu avec des modèles intermédiaires à un seul niveau d'hétérogénéité). La formulation que nous en donnons ici peut sembler assez proche de celle du premier feuillet. Mais à la différence de la première formulation, on sait qu'une solution sera jugée acceptable à la condition qu'elle soit formulée en termes chimiques. La solution, provisoirement disponible, d'une transformation mécanique ne convient plus : on a beau découper de l'herbe en petits morceaux, cela reste de l'herbe si on raisonne avec un modèle continu et homogène de la matière¹⁸. Pour que ce deuxième niveau

¹⁸ Notons que la modélisation de l'action des enzymes sur les aliments, présentée régulièrement sous forme de petits ciseaux qui découpent les molécules alimentaires (Sauvageot-Skibine, 1991) n'aide pas à identifier le problème et peut constituer un obstacle à la compréhension des relations entre digestion et nutrition.

d'élaboration du problème soit possible, il est nécessaire de disposer d'un modèle de la matière discontinu et hétérogène, avec un système atomes – molécules, élaboré en dehors de ce problème. La nécessité de « transformation de nature » élaborée dans le premier feuillet peut, dans ces conditions, être conçue en termes de « nécessité de transformation chimique ».

Lors du passage du premier niveau de formulation du problème au deuxième, le premier n'existe plus en tant que problème, mais il n'a pas pour autant disparu. Il est toujours présent (idée de structure d'accueil précisée ci-dessus) à la base d'un cadre problématique et permet de donner une signification au deuxième problème (qu'on pourrait formuler ainsi : comment l'homme peut-il élaborer sa propre matière à partir de matières différentes, puisque les transmutations sont impossibles). Le problème « basique » structure les nouveaux problèmes qui se sont greffés dessus. C'est bien un feuilletage et les différents problèmes ne peuvent être pensés indépendamment les uns des autres sans entraîner des pertes de sens. Ceci a nécessairement des conséquences didactiques si l'on réfléchit en termes curriculaires.

Plusieurs obstacles peuvent intervenir ici, non pour permettre l'émergence du problème¹⁹, mais pour empêcher son identification à ce deuxième niveau. Ainsi, si l'on considère que tout peut se transformer en tout sans contrainte (idée de transmutation) et que l'on conçoit le microscopique à l'image du macroscopique alors la transformation de l'herbe peut suffire à la faire changer de nature. En effet, avec cette façon de penser là, on peut considérer qu'il ne s'agit plus de la même substance dès lors qu'elle change consistance²⁰. Ces obstacles viennent masquer le problème. Si rien n'est saillant, dérangent, comment peut-on se lancer dans une activité de problématisation ?

Si on regarde les cases de droite, la « nécessité sur le modèle » construite reste d'une formulation très générale : il y a nécessairement des transformations chimiques. Elle ne permet pas de spécifier le type de réactions chimiques impliquées dans la transformation des aliments en nutriments, d'autant plus que les réactions chimiques disponibles au niveau du collège et du début du lycée (celles de la chimie minérale) ne sont pas celles impliquées dans ces réactions. Du point de vue des liens entre l'activité de construction de problème et le travail expérimental, cela permet

¹⁹ On peut dire que des obstacles permettent l'émergence d'un problème à partir du moment où on peut commencer à entrevoir leur non cohérence avec d'autres éléments que l'on accepte aussi. Ils le permettent quand ils commencent à perdre leur statut d'obstacle. Mais sans cette idée qui faisait obstacle, et sans cette incohérence perçue, le problème ne serait pas apparu. C'est ce qu'Astolfi et Peterfalvi appellent « *obstacle difficulté* » par opposition à l'« *obstacle facilité* » (1993, p. 113-114).

²⁰ Primat de la perception analysé par Peterfalvi (2001).

seulement de délimiter ce que l'on doit rechercher lors d'un travail d'investigation²¹ et d'éliminer certaines réponses (comme celle d'une transformation mécanique) : où les aliments subissent-ils des transformations chimiques ? quelles sont les réactions chimiques concernées ? quels sont les réactifs et les produits de ces réactions chimiques ?

Reprenons la discussion engagée à propos de la distinction entre modèle continu et homogène de la matière, modèle discontinu avec un ou deux niveaux d'hétérogénéité. La chimie et les modèles « atome – molécule » se caractérisent par deux niveaux d'hétérogénéité entre particules.

1/ Un premier niveau d'hétérogénéité permet de considérer la matière comme composée de différentes parties plus élémentaires qui peuvent, après avoir été séparées, être recomposées : on est dans un problème de mélange. Cela peut concerner les différents nutriments qui composent les aliments et même, pourquoi pas, les différentes molécules simples qui composent les macromolécules alimentaires. En effet, si l'on regarde les formulations données dans les manuels scolaires à propos de la digestion, malgré une insistance sur le caractère chimique de la digestion, par opposition à une conception comme simple fragmentation, on s'aperçoit qu'il s'agit la plupart du temps d'une pseudo-chimie : on y parle très peu des hydrolyses, la chimie de la digestion y est souvent ramenée à l'action des sucs digestifs sur les aliments. En fait, la vision de macromolécules découpées en unités plus petites par les enzymes digestives, notamment pour les protéines (figurées comme un collier de perles différentes entre elles, séparées puis recomposées autrement [Sauvageot-Skibine, 1991 ; Brabet, 2008]), n'est-elle pas équivalente à un modèle à un seul niveau d'hétérogénéité ?

2/ Un second niveau d'hétérogénéité permet d'entrer réellement dans la chimie, les dégradations du catabolisme et les synthèses de l'anabolisme nécessitent non seulement des réarrangements entre molécules (telles qu'on pourrait les envisager dans un modèle à un seul niveau d'hétérogénéité), mais également des réarrangements entre atomes, à l'intérieur de molécules. Ce sont eux qui rendent nécessaires la prise en compte des dimensions énergétiques liées aux lois de la thermochimie.

On peut se demander pour quel problème biologique ces deux niveaux d'hétérogénéité sont vraiment nécessaires. De plus, il est difficile de concevoir que la nécessité des deux niveaux d'hétérogénéité soit construite dans le cadre du cours du SVT. Cela implique qu'elle soit construite ailleurs pour pouvoir être mobilisée comme un outil en SVT dans une dialectique outil/objet, dans un ordre inversé par

²¹ On ne sait pas encore exactement ce que l'on cherche, mais on a une idée précise de la forme de la réponse : la réponse est une réaction chimique.

rapport aux propositions de Douady (, 1984). « *Ce qui n'est pas choquant si le processus est vraiment dialectique* », comme le précise Astolfi et Peterfalvi (1993, p. 120). De plus, ce que nous disons là n'implique pas nécessairement que ce modèle de la matière discontinu à deux niveaux d'hétérogénéité soit appris avant, dans le cours de physique-chimie, mais cela pourrait être traité simultanément en physique-chimie et en SVT, les questions de biologie venant donner du sens à ce qui est appris en chimie. Ces réflexions pourraient nous permettre d'envisager les relations entre les disciplines. Nous ne les développerons pas davantage.

1.2.3.3. Des niveaux supérieurs d'élaboration du problème d'assimilation (post-bac)

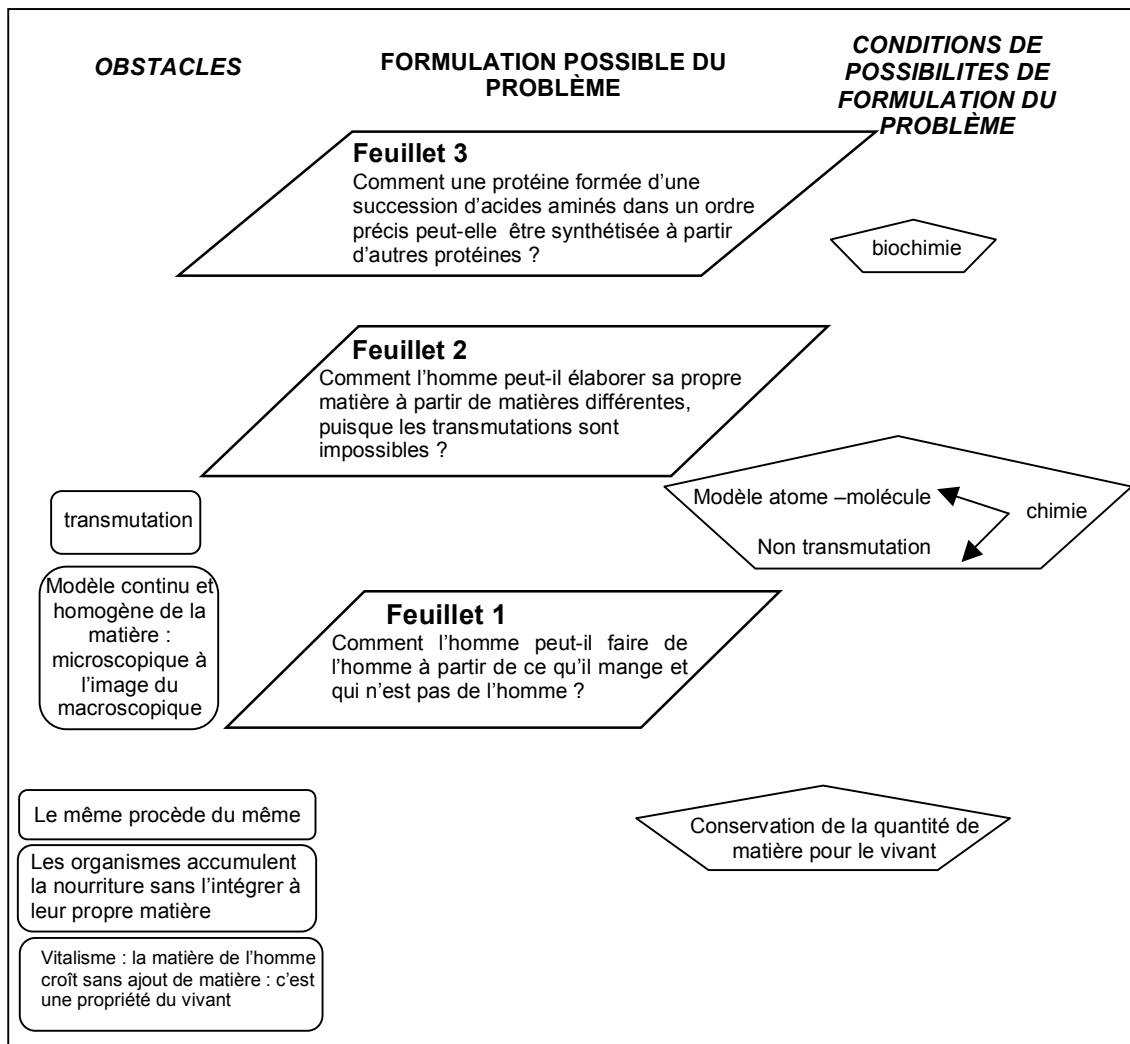
D'autres niveaux d'élaboration de ce problème pourront être proposés lorsque de nouvelles élaborations mobilisant d'autres champs disciplinaires (biochimie, thermodynamique) seront disponibles et viendront questionner les solutions du deuxième problème, permettant de faire apparaître de nouveaux problèmes (écart entre la cinétique observée dans les transformations chimiques de la digestion et les cinétiques des réactions chimiques sans catalyseur...). De nouvelles nécessités sur les modèles pourront être construites, mais surtout, en fonction des savoirs disponibles, les nécessités empiriques seront beaucoup plus précises. Cela permettra de mettre en œuvre des plans expérimentaux précis.

De plus, il peut également y avoir des enchaînements problématiques qui se traduisent par des bifurcations vers des problèmes d'autres types. Ainsi, à un niveau supérieur d'élaboration du problème d'assimilation (au niveau biochimique), on peut construire de nouveaux problèmes comme ceux liés au métabolisme intermédiaire par exemple. C'est en cela que nous parlons d'enchaînement problématique.

1.2.3.4. Conclusion

La figure 4-6 tente de représenter les différents niveaux d'élaboration du problème de l'assimilation en les articulant avec les obstacles qui interviennent dans leur « position-formulation » et les conditions de possibilité de « position-formulation » de ces mêmes problèmes.

Figure 4-6. Les différents niveaux d'élaboration du problème d'assimilation



Le passage du premier niveau d'élaboration du problème au deuxième correspond à l'abandon d'un modèle homogène et continu de la matière pour un modèle hétérogène, avec l'entrée dans le monde de la chimie : c'est ce qui est représenté figure 4-6. Cependant, à ce stade de la réflexion, nous nous demandons si, ce deuxième feuillet ne pourrait pas être dédoublé pour intégrer le modèle discontinu de la matière à un seul niveau d'hétérogénéité, comme nous l'avons discuté plus haut. Cela pourrait renvoyer le passage à deux niveaux d'hétérogénéité au passage du deuxième au troisième feuillet avec l'entrée dans la biochimie²². Ainsi, il est possible que toute la chimie utilisée avant n'en soit pas vraiment une. Mais le fait de l'introduire peut toutefois remplir une fonction. Cela peut mettre sur la voie, permettre d'envisager que c'est avec la chimie qu'on trouvera des solutions, même si cela n'est pas vraiment problématisé à ce niveau, puisque la chimie, en tant que telle,

²² Du point de vue des conditions de possibilité, il faudrait alors déplacer le modèle atome - molécule entre le deuxième et le troisième feuillet, ce qui nécessite des investigations complémentaires.

n'est pas vraiment impliquée dans les raisonnements. Cela donne de nouvelles directions de recherche qui devront être mises à l'épreuve.

Par rapport aux obstacles, il convient de préciser que, quel que soit le niveau de « position-formulation » du problème auquel nous les avons associés, tous peuvent réapparaître plus tard : c'est même une caractéristique essentielle des obstacles (Fabre, 1995 ; Peterfalvi, 2001).

1.3. Conclusion

1/ Cette étude épistémologique préalable a permis d'identifier plusieurs familles de problèmes par rapport au domaine de la nutrition : des problèmes d'absorption/distribution et des problèmes d'assimilation. Cela nous donne les moyens de déterminer quel problème sera mis au travail dans la problématisation scolaire que nous allons étudier à la section 2. De plus, nous avons essayé, pour chacun de ces problèmes, d'identifier les tensions essentielles en jeu qui constituent, ce que nous avons appelé, « la dimension épistémique » du problème. Cela donne, il nous semble, un moyen d'évaluer la pertinence épistémologique des problématisations scolaires : le problème travaillé par les élèves au cours d'un débat scientifique recouvre-t-il partiellement, complètement, le problème dans sa dimension épistémique. Enfin, nous avons indiqué un certain nombre d'obstacles qui peuvent jouer lors de la mise au travail de ces savoirs. Nous serons en mesure de les identifier s'ils se manifestent dans le cas que nous allons étudier.

2/ Elle nous a également permis de poursuivre nos élucidations théoriques engagées dans le chapitre 1 sur un exemple. Nous avons engagé, à partir de résultats classiques de la didactique de la biologie, la construction de problématisations potentielles mobilisant les « espaces contraintes et nécessités » présentés chapitre 1, pour expliciter les liens possibles entre problématisation, problème et obstacles. Cela ouvre des pistes de recherche concernant une approche curriculaire de la problématisation des fonctions de nutrition. Nous avons également précisé que les obstacles pouvaient jouer un double rôle par rapport à la problématisation : soit, ils participent à la « position-formulation » du problème ; soit, au contraire, ils empêchent sa « position-formulation » en écrasant le problème. Il conviendra de voir si nous retrouverons ces différentes fonctions de l'obstacle par rapport au processus de problématisation, dans l'étude de cas sur la nutrition chez l'homme, dans une classe de troisième.

2. La nutrition chez l'homme en classe de 3^e : une problématisation scolaire

2.1. Le dispositif d'enseignement-apprentissage

Le dispositif a été mis en œuvre en classe de troisième du collège *Le Hague-Dike*, Beaumont-Hague (50). Il a été conçu et mis en œuvre par nous-même dans une classe dont nous avons la responsabilité en 2003-2004. Le recueil de données fait partie du corpus exploité dans le cadre de notre mémoire de DEA (Lhoste, 2004). Dans le cadre de ce travail préliminaire, nous avons mobilisé nos premières analyses doubles : épistémologiques puis langagières, sur certains épisodes du débat (les moments de présentation des explications de chaque groupe). Nous avons repris l'ensemble de ce corpus selon la méthodologie décrite au chapitre 3, ce qui prolonge et développe le travail réalisé dans le cadre du DEA.

2.1.1. La nutrition dans le programme de 3^e

Le débat a eu lieu dans une de nos classes de 3^e, dans le cadre de la partie du programme de SVT consacrée au « *fonctionnement de l'organisme, activité des cellules et échanges avec le milieu* », programme paru en 1998 (France : MÉN, 1998) et en vigueur au moment de la mise en œuvre dans la classe. Ce thème ne fait plus partie des programmes de 3^e entrés en application à la rentrée 2008 (France : MÉN, 2007 ; programmes réécrits dans le cadre du socle commun en mai 2008).

Il s'agissait, pour nous, de faire construire aux élèves un modèle intégré des fonctions de nutrition, faisant intervenir les apports en nutriments et en dioxygène pour expliquer le métabolisme de la cellule (apport de matière et d'énergie). Le travail réalisé avec les élèves s'inscrivait dans un premier chapitre consacré à la digestion et à l'absorption intestinale.

2.1.2. Premier temps : la situation d'évaluation diagnostique

Après avoir précisé que la classe allait devoir produire une affiche expliquant les mécanismes de la nutrition, l'enseignant demande aux élèves de réaliser, individuellement, un schéma et un texte expliquant comment un organe (comme le muscle) est approvisionné en énergie et en matière.

En s'appuyant sur l'analyse de ces productions (présentées en annexe 1) en fonction des idées qu'elles contiennent (Idées de distribution, de tri, de transformation), nous avons constitué des groupes de 3 ou 4 élèves ayant des conceptions proches (tableau 4-1).

Tableau 4-1. Les groupes d'élèves constitués au terme de l'évaluation diagnostique

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6
Angéline	Chloé	Christophe	Angélique H.	Anne-Laure	Fabien
Angélique	Clément	Florian	Camille	Cindy	Maxime
Anthony	Kévin	Lolita	Léa	Jean-Luc	Paul
Benoît	Manuel	Maxime B.	Maëva	Samuel	Sabrina
	Stéphane		Maud		

2.1.3. Deuxième temps : un travail de groupe

Chaque groupe produit une affiche répondant à la même question que celle posée lors de l'évaluation diagnostique. Ces affiches constituent le support du débat de classe qui se déroule à la troisième séance. Les six affiches sont présentées en annexe 2.

2.1.4. Troisième temps : un débat scientifique dans la classe

L'affiche d'un groupe est présentée à la classe. Les autres élèves peuvent poser des questions. Lorsque les élèves semblent avoir compris l'explication, un autre groupe présente une deuxième affiche disposée à côté de la première. Lorsque deux affiches ont été présentées et questionnées, on procède à une comparaison de ces

deux affiches. L'enseignant note au tableau les points communs et les différences entre les deux solutions possibles. Une fois la comparaison achevée, une troisième affiche vient recouvrir la première et ainsi de suite.

Cette séance a été filmée. La transcription complète des différentes interventions constitue notre corpus de données. Elle est présentée en annexe 3.

2.2. Analyse du processus de problématisation

2.2.1. Analyse macroscopique du débat

2.2.1.1. Une première analyse thématique

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre 3, une spécificité de ce corpus est l'organisation et la longueur du débat par rapport aux deux débats que nous étudierons dans le chapitre 5.

En effet, le débat est organisé, comme nous l'avons indiqué précédemment, en plusieurs temps :

- une présentation des affiches de groupe et une explicitation de ces affiches ;
- puis une phase de comparaison des affiches deux à deux (comparaison affiche 1 / affiche 2 , puis affiche 2 / affiche 3...).

Nous pouvons ainsi distinguer les temps de présentation-explicitation et les temps de comparaison. Ce premier découpage du corpus est présenté dans le tableau 4-2. Il a été effectué de la façon suivante :

- début de la présentation de l'affiche : un élève présente le pré-modèle, à partir de l'affiche à la classe ;
- fin de la présentation : l'enseignant ou les élèves ont fini de questionner le modèle présenté et l'enseignant propose de passer à la phase de comparaison entre les affiches. En effet, nous avons considéré que, lorsque le questionnement du modèle se termine, cela signifie que la présentation est achevée et qu'elle peut être une solution possible et recevable comme telle par la classe.

Tableau 4-2. Les moments de présentation-explicitation des affiches

groupe 1	interventions 1 à 18
groupe 2	interventions 34 à 45
groupe 3	interventions 100 à 108
groupe 4	interventions 187 à 193
groupe 5	interventions 282 à 314
groupe 6	intervention 326

Dans un second temps, à partir du script du débat, nous avons identifié les épisodes, définis par les sous-problèmes qui y sont travaillés, en lien avec l'analyse préalable présentée à la section 1. Ce sont ces critères qui nous ont permis d'identifier les épisodes présents dans le tableau 4-1. Le tableau 4-3 présente les différents épisodes du débat. Nous avons identifié 22 épisodes dans ce débat (pour 356 interventions) en dehors des moments de présentation-explicitation des explications des groupes.

Tableau 4-3. Analyse thématique des moments de comparaison entre les différentes explications proposées par les élèves

	1-18	<i>Présentation / explicitation de l'explication du groupe 1</i>
1	19-28	Absorption
2	29-32	Tri
	34-45	<i>Présentation / explicitation de l'explication du groupe 2</i>
3	46-47	Tri
4	48-51	Nature de ce qui est absorbé
5	52-60	Tri
6	61-63	L'air
7	64-70	Tri / absorption (lieu)
8	71-84	Distribution (place et fonction du cœur)
9	85-99	Transformation des aliments

	100-108	<i>Présentation / explicitation de l'explication du groupe 3</i>
10	109-116	L'air
11	117-172	Distribution (le circuit sanguin, mise en mouvement du sang et sens de circulation)
12	173-186	Transformation des aliments
	187-200	<i>Présentation / explicitation de l'explication du groupe 4</i>
13	201-210	Distribution (le circuit sanguin)
14	211-265	Tri / transformation des aliments
15	266-273	Absorption
16	274-278	Distribution
17	279-281	Tri / transformation des aliments
	282-314	<i>Présentation / explicitation de l'explication du groupe 5</i>
18	315-319	Transformation des aliments
19	320-325	Absorption
	326	<i>Présentation / explicitation de l'explication du groupe 6</i>
20	327-349	Tri / absorption
21	350-351	Distribution
22	352-356	Absorption

Dans le tableau 4-4 nous avons regroupé, par thème, les différents épisodes consignés dans le tableau 4-3.

Tableau 4-4. Les épisodes du débat classés par thème

Absorption	Tri	Air	Tri/ absorption	Distribution	Transformation	Tri/ transformation
19-28	29-32	61-63	65-70	71-84	85-99	211-265
48-51	46-47	109-116	327-349	117-172	173-186	279-281
265-273	52-59			201-210	316-319	
320-325				274-278		
352-356				350-351		
5 épisodes	3 épisodes	2 épisodes	2 épisodes	5 épisodes	3 épisodes	2 épisodes

Sur les 22 épisodes du débat, il nous semble que les élèves construisent un modèle intégré de la nutrition où les problèmes de digestion (15 épisodes) sont envisagés en relation avec ceux de distribution (5 épisodes). La question de la respiration, même si elle est présente à travers deux interventions, n'est pas reliée aux questions de digestion et de circulation.

Compte tenu de l'analyse didactique présentée à la section 1, la nutrition est abordée ici du point de vue du problème de la distribution/circulation. Par rapport aux résultats présentés dans le tableau 4-4, nous pensons que le tri (7 épisodes) qui apparaît soit seul (3 épisodes), soit en lien avec les questions d'absorption (2 épisodes) et de transformation (2 épisodes) est un élément qui joue un rôle central, dans ce débat, pour lier digestion et distribution. Cependant, ce premier découpage thématique (qui correspond à une approche langagière) ne dit rien des problèmes pris en charge par les élèves, de la façon dont nous l'entendons au CREN. C'est pourquoi nous allons mener une seconde analyse, plus épistémologique, qui va nous permettre de construire une macrostructure de ce débat, à la manière de Fabre et Orange (1997) et Fabre (1999).

2.2.1.2. La macrostructure du débat

Une macrostructure représente « *un espace qui n'est ni strictement chronologique, ni strictement logique, mais qui s'efforce de rendre compte du développement de l'argumentation* » (Fabre, 1999, p. 201). Nous l'avons construite en suivant la

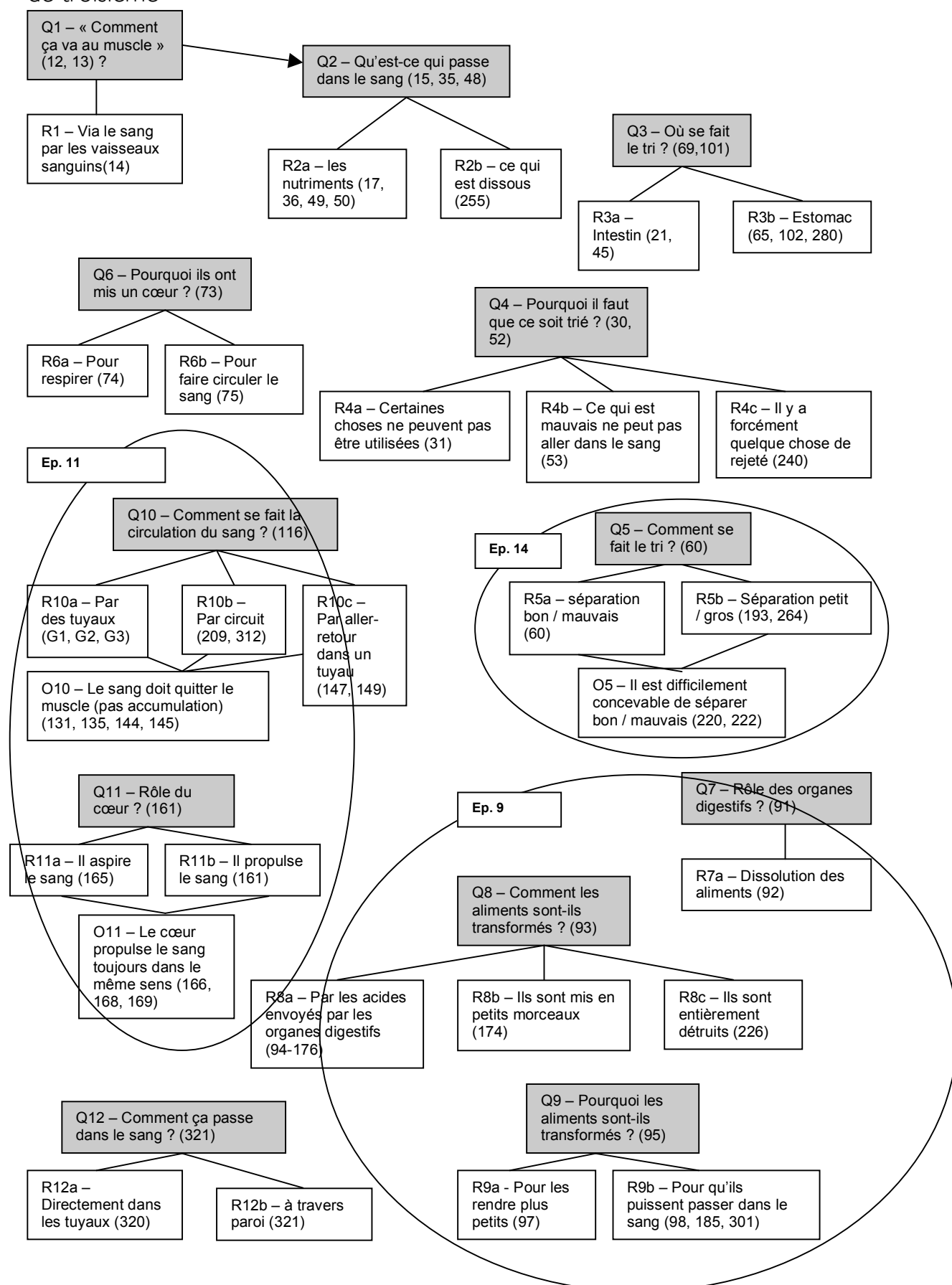
méthodologie décrite par Fabre : « *Les propositions sont de type question ou de type réponse. Les réponses peuvent être des thèses (et des antithèses). Les objections ont un statut particulier : nous les traitons comme des questions spéciales. On peut regrouper les propositions selon le problème (implicite ou explicite) qui les concerne : ce dont il est question ! Il s'agit ensuite de reconstruire le réseau de ces propositions pour reconstituer l'espace-problème* » (ibid., p. 200).

Nous avons construit la macrostructure de ce débat en indiquant les questions qui ont été traitées (Q), les réponses qui ont été envisagées (R) et certaines objections formulées (O). La macrostructure du débat, dans la classe de 3^e, est présentée à la figure 4-7.

Comme l'analyse épistémologique est différente de l'analyse thématique, il n'y a pas toujours de recouvrement entre les épisodes et le développement « questions – réponses – objections ». Quand ce recouvrement existe, nous l'avons indiqué par des paquets référés à l'épisode concerné.

Figure 4-7. Macrostructure du débat sur le thème de la nutrition en classe

de troisième



Plusieurs remarques sur cette macrostructure.

1/ De nombreuses questions ont été abordées au cours de ce débat et on observe certains bouclages dans le débat qui se manifestent de plusieurs façons :

- des bouclages simples, où la même question est abordée à plusieurs reprises dans le débat (« qu'est-ce qui va dans le sang ? » reprise plusieurs fois dans le débat en 16, 36, 49 ; « pourquoi il faut que ce soit trié ? » en 31, 53) ;
- des bouclages en retour, où le traitement d'une autre question provoque un retour sur une question préalablement traitée, en la modifiant. Nous avons observé un tel bouclage dans le cas où la question « comment/pourquoi les aliments sont transformés ? » (Q8 et Q9) rétroagit sur la question 5 « comment se fait le tri ? ».

2/ Les différents thèmes abordés sont traités sous plusieurs angles complémentaires (où ? pourquoi ? comment ?) autour de plusieurs thèmes (tri, transformation).

3/ Nous pouvons proposer une catégorisation au sein des questions traitées :

- des questions qui donnent lieu à une seule réponse (Q1 : « comment ça va au muscle ? ») ;
- des questions qui donnent lieu à plusieurs réponses qui ne sont pas contradictoires entre elles. On pourrait dire qu'il s'agit de plusieurs versions différentes d'une même réponse (Q8 : « comment les aliments sont-ils transformés ? » ; R8a : « par les acides envoyés », R8b : « ils sont mis en petits morceaux », R8c : « ils sont entièrement détruits ») ;
- des questions qui donnent lieu à des réponses contradictoires dans un laps de temps relativement proche. Soit il y a opposition entre les différentes réponses proposées : cela provoque généralement une opposition de thèses avec argumentation qui peut déboucher sur la formulation d'objections. C'est le cas, par exemple, autour de la question de l'organisation de la circulation sanguine ou de la façon dont le tri s'effectue. Ces moments correspondent aux nœuds problématiques. Soit il n'y a pas de discussion, une des réponses n'étant pas retenue par la classe (cas de la question Q6 : « pourquoi ils ont mis un cœur ? » et la réponse R6a est énoncée, mais n'est pas discutée après R6b).

C'est dans le cas où différentes réponses sont en concurrence que l'on pourra trouver des épisodes fortement argumentatifs.

2.2.2. Analyse épistémologico-langagière

Comme nous voulons rendre compte du processus de problématisation des élèves, à travers le travail des savoirs par/dans le langage, nous allons mener une analyse épistémologico-langagière sur certaines séquences sélectionnées. Nous avons retenu les séquences qui correspondent aux moments de présentation des explications des différents groupes, aux nœuds problématiques et tous les autres épisodes thématiques, à l'exception de :

1/ ceux qui se limitent à une simple explicitation d'un élément précis d'une affiche ou d'un élément discuté précédemment, sans développement supplémentaire (deux exemples parmi les épisodes 3, 4, 15, 18 et 22).

L'épisode 4 :

48	Enseignant :	Qu'est-ce qui va // si j'ai bien compris votre schéma en rose c'est le tube digestif et en vert c'est les vaisseaux sanguins / c'est ça // alors qu'est-ce qui va du tube digestif aux vaisseaux sanguins (question)
49	Kévin :	Les nutriments / en orange
50	Enseignant :	Les nutriments en orange
51	Kévin :	//

L'épisode 22 :

352	Maëva :	C'est comme celui d'avant, c'est par les parois que ça passe
353	Enseignant :	Le tri se fait par une paroi / puisque vous dites // la paroi est très fine
354	Maxime :	Et elle est entourée de capillaires sanguins
355	Enseignant :	Et elle est entourée de capillaires sanguins
356	Maxime :	Ce qui permet que les nutriments puissent passer

L'épisode 22 correspond à une reprise d'une partie de l'intervention 326 de Maxime : « *Ensuite, ils passent dans l'intestin grêle, où là ils sont transformés à l'état liquide. Et là, le sang est en contact, la paroi de l'intestin grêle est très fine, donc le sang, il y a tout un réseau de vaisseaux sanguins autour de l'intestin grêle, ce qui permet que les nutriments qui sont dans l'aliment liquide puissent passer dans le sang* » ;

2/ ceux qui font un « point de la discussion » par rapport à des éléments développés dans des épisodes précédents, sans développement supplémentaire (un exemple parmi les épisodes 7, 8, 10, 16 et 17).

L'épisode 10 :

109	Enseignant :	Est-ce que vous avez des questions à leur poser / là sur leur // est-ce que vous comprenez bien comment il fonctionne // Maëva /
110	Maëva :	Ils ne parlent pas d'air non plus
111	Enseignant :	Ils parlent pas d'air non plus
112	Anthony ? :	Attend il a pas fini
113	Enseignant :	Est-ce que ça intervient l'air dans votre modèle
114	Florian :	Nan
115	Enseignant :	Nan / ça n'intervient pas dans l'apport d'énergie et // c'est ça / un / ça n'intervient

		pas dans l'apport d'énergie et de matière aux muscles // donc l'air n'intervient pas dans cette affaire là // ça concerne uniquement les aliments si je comprends bien / ok // quoi d'autre // Maëva
--	--	--

Pour finir, le tableau 4-5 précise les épisodes qui ne seront pas analysés, leur délimitation et le nombre d'interventions concernées.

Tableau 4-5. Les épisodes qui ne donnent pas lieu à une analyse épistémologico-langagière

<i>Épisode concerné</i>	<i>Délimitation</i>	<i>Nombre d'interventions non analysées</i>
3	46-47	2
4	48-51	4
7	64-70	7
8	71-84	14
10	109-116	8
15	266-273	8
16	274-278	5
17	279-281	3
18	315-319	5
22	352-356	5

Ces épisodes, très courts, concernent 61 interventions sur les 356 interventions du débat. Nous avons considéré qu'ils n'apportent pas d'informations déterminantes par rapport au processus de problématisation et nous avons choisi de ne pas les analyser.

2.2.2.1. Présentation de l'affiche du groupe 1 et épisodes 1 et 2

- La présentation du premier groupe et l'épisode 1

Le tableau 4-6 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'explication du premier groupe d'élèves.

Tableau 4-6. La présentation du groupe 1 : analyse épistémologico-langagière

Anthony, Angéline, Angélique et Benoît font partie du groupe 1

N° intervention dans la transcription du débat et nom de la personne qui intervient	Intervention	Analyse épistémologico-langagière
1- Angélique	Nous en fait, on pense que quand <u>on mange quelque chose</u> / ça va dans l'œsophage jusque dans l'estomac et puis que ensuite / ben le ... l'organisme il trie ce qui est bon et ce qui est pas bon // ce qui est bon passe dans le sang / dans tous les organes quoi // ce qui n'est pas bon continue dans les intestins pour ensuite être rejeté	1/ Double prise en charge énonciative par reprise « nous » -> « on » et par l'emploi du verbe penser. 2/ Structure de l'explication qui prend la forme d'une mise en histoire ²³ .
12- Maxime :	Bah / c'est pris par quoi en fait // je vois pas très bien / mais ils disent que l'organisme trie ce qui est bon et ce qui est pas bon / mais / ça va au muscle comment	1/ Critique concernant « ce qui est bon passe dans tous les organes » : rien n'indique comment ça va du sang aux organes. 2/ Thématization sur le « <i>comment ça va jusqu'au muscle en fait</i> » qui semble être une reprise-modification de « <i>c'est pris par quoi en fait</i> »
13- Maxime :	Comment va ce que / l'organisme il choisit ce qui est bon mais comment ça va jusqu'au muscle en fait	On peut comprendre cette intervention si l'on considère que Maxime mobilise la nécessité d'une distribution de « ce qui est bon » à tous les organes, distribution présente sur l'affiche du groupe 1, mais peu explicitée dans la présentation d'Angélique : « <i>ce qui est bon passe dans le sang/ dans tous les organes quoi</i> »
14- Angélique :	Par les vaisseaux sanguins / quand ça passe dans le sang	Gestion du dialogisme : Extension de l'objet du discours pour répondre à la critique émise ci-dessus et reprise-modification par parasynonymie : <u>par les vaisseaux sanguins</u> , quand ça passe dans le sang.
15- Enseignant :	Alors / qu'est-ce qui passe dans le sang	
16- Angélique :	Euh // euh // les nutriments	Reprise-modification de « ce qui est bon » par référenciation : ce qui est bon = les <u>nutriments</u> . Permet une dénivellation dans un univers plus abstrait, plus théorique, plus scientifique.
17- Enseignant :	Donc les nutriments passent dans le sang et ils viennent d'où les nutriments	
18- Angélique :	<u>De ce que l'on a mangé</u>	Reprise-modification de « <u>on mange quelque-chose</u> » par actualisation <u>de ce que l'on a mangé</u> . Ainsi les nutriments

²³ Nous utiliserons le vocable « mise en histoire » pour désigner une configuration qui a à voir avec une succession d'épisodes, d'étapes. Nous discuterons, à la fin de cette analyse, ce que recouvre cette notion de « mise en histoire ».

		proviennent des aliments, ce qui permet d'ouvrir la possibilité de mettre en question la transformation aliments -> nutriments (Q8).
Structure de l'explication produite	Sur la plan épistémique	Indicateurs langagiers
	<pre> Aliment ↓ Oesophage ↓ Estomac Organisme tri ↙ ↘ Ce qui est bon Ce qui n'est pas bon ↓ Sang Organe ↓ Intestin Rejet </pre>	<p>Ça va Jusque dans Et puis que ensuite Ce qui est bon passe Ce qui n'est pas bon continue Pour ensuite</p>

La présentation du premier groupe d'élèves permet, du point de vue du processus de problématisation, de pointer la mobilisation d'une première contrainte théorique qui positionne la discussion dans un cadre explicatif précis. Maxime, en 12-13, demande comment « *ce qui est bon* » va au muscle. On ne peut comprendre cette intervention que si Maxime pense qu'il est nécessaire que les nutriments (« *ce qui est bon* » comme le formule Angélique en 16) aille dans tous les organes. Angélique ayant marqué une certaine hésitation et un certain flou par rapport à ce point, Maxime pose la question. Cet élément n'est pas une nécessité dans le sens que nous lui donnons²⁴, mais correspond davantage à une contrainte théorique importée dans la discussion : tous les organes doivent être approvisionnés en nutriments. Ainsi, si l'on se place dans un cadre épistémique de type mécaniste, la présentation d'Angélique (groupe 1) présente un « trou » dans le trajet présenté, entre le moment où les nutriments passent dans le sang et le moment où ils arrivent aux organes. La continuité spatio-temporelle est bien une donnée caractéristique du paradigme mécaniste, même si elle n'est pas complètement explicitée dans la présentation d'Angélique, ce que relève également la remarque de Maxime (« *mais / ça va au muscle comment* » – 12).

La prise en compte immédiate de cette contrainte théorique, par Angélique, témoigne du repositionnement de cet élève dans ce cadre épistémique. Cela permet, au niveau de la gestion du dialogisme, de lever immédiatement l'ambiguïté de sa présentation. Angélique complète le trajet (elle bouche le « trou ») par l'extension de l'objet du discours en 14 : entre le tube digestif et les organes, il y a des tuyaux : les vaisseaux sanguins et du sang à l'intérieur assurant le transport des nutriments. L'intervention d'Angélique vient enrichir, en retour, la contrainte théorique 1 : « *les organes doivent être approvisionnés en nutriments par le sang* ».

²⁴ Elle ne correspond pas au produit d'un raisonnement, mais bien à l'importation d'une proposition qui vient contraindre les solutions possibles. Une explication qui ne prendrait pas en compte cette contrainte ne pourrait pas être acceptable.

La structure de l'explication produite est linéaire, caractérisée par l'emploi d'indicateurs langagiers qui prennent, à la fois, en charge la dimension temporelle (« *et puis* », « *ensuite* ») et spatiale (« *jusque dans* », « *passer dans* », « *continuer dans* ») de l'explication produite.

L'épisode 1, qui suit cette présentation, permet un retour sur la question du passage de « *ce qui est bon* » dans le sang mais uniquement d'un point de vue descriptif (où est le sang sur le schéma de l'affiche).

• Épisode 2 : Ébauche de la nécessité de tri

29	Enseignant :	Alors comment se fait le tri entre ce qui est bon et ce qui n'est pas bon / pour reprendre la question de Maxime
30	Enseignant :	Pourquoi il faut que ce soit trié
31	Benoît :	Parce que certaines choses ne peuvent pas être utilisées pour le corps

Une première justification de l'idée de tri (présente dès la présentation d'Angélique) est établie par un raisonnement dont la conclusion est explicitée par l'emploi de « *parce que* » : il y a nécessairement un tri qui s'effectue entre ce qui est utile pour le corps (et qui va aller dans les organes) et ce qui n'est pas utile (et sera rejeté). Ce raisonnement, si on le considère comme sensé (hypothèse que nous faisons), pourrait alors reposer sur des principes référés à des savoirs quotidiens :

- un principe (1) d'économie : c'est de la perte de temps et d'énergie que d'apporter aux muscles des choses qui ne lui sont pas utiles ;
- un principe (2) de dévalorisation de ce qui n'est pas utile et qui pourrait même avoir un effet néfaste pour l'organisme.

Ces deux principes pourraient constituer le fondement du raisonnement de Benoît dans le cadre du schéma de l'argumentation de Toulmin. Ce type de raisonnement, déjà mis en évidence par Orange, repose sur des concepts catégoriels (Cassirer, 1977 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1993) avec des « *des catégories doubles, l'une valorisée et l'autre dévalorisée* », ce qui « *semble correspondre à un fonctionnement de la pensée commune des élèves* » (Orange, 2004, p. 3-4).

Cependant, les élèves peuvent construire, à partir de savoirs quotidiens, un premier niveau de nécessité qui a une pertinence épistémologique. Du point de vue du processus de problématisation, il est intéressant de noter la spécificité de ce type de fonctionnement où les élèves peuvent construire des nécessités en mobilisant des

savoirs quotidiens. Nous suivrons cette nécessité et son utilisation dans la suite du débat.

• Conclusion

La présentation du premier groupe a permis d'ancrer la discussion dans un cadre épistémologique où la nutrition est envisagée d'un point de vue mécaniste. Une première formulation de la nécessité de tri est proposée par les élèves en appui sur des savoirs quotidiens, mais elle n'est pas encore reliée aux autres nécessités, condition pour construire un modèle intégré des questions de nutrition.

2.2.2.2. Présentation de l'affiche du groupe 2 et épisodes 3 à 9

• La présentation du deuxième groupe

Le tableau 4-7 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'explication donnée par les élèves du deuxième groupe.

Tableau 4-7. La présentation du groupe 2 : analyse épistémologico-langagière

Chloé, Clément, Kévin, Manuel et Stéphane font partie du groupe 2

	Intervention	Analyse épistémologico-langagière
34- Clément :	Alors les nutriments / ils passent par l'œsophage / l'estomac et ils passent par le sang dans l'intestin et ils nourrissent les muscles	Structure de l'explication qui prend la forme d'une mise en histoire
35- Enseignant :	Quand vous dites « ils » vous parlez de quoi	
36- Clément :	Bah / des nutriments	Reprise-modification des trois ils par référencement : ils = des nutriments . Retour à la première formulation en 34.
37- Enseignant :	Sur votre affiche vous avez mis aliment en orange / c'est la même chose aliment et nutriment	
38- Clément :	Oui	Reprise-modification de trois ils par glissement lexical : nutriments = aliments qui fonctionne comme une dénivellation.
39- Enseignant :	Alors des questions complémentaires	
40- Benoît :	L'air / il va dans l'estomac aussi (question)	
41 Clément :	Il passe par les poumons	
42 Enseignant :	Ca n'apparaît pas là / c'est juste ce qui concerne les aliments	

43- Léa :	Il n'y a pas de tri	<i>Hétéroglossie implicite : Évaluation</i> Critique : Il n'y a pas de tri.
44- Enseignant :	Il n'y a pas de tri // est-ce qu'il y a un / mais il n'y a pas de tri sur votre affiche // la question c'est pour les trois membres du groupe / Kévin // est-ce qu'il y a un ou pas de tri parce qu'avant il y a un tri entre ce qui est bon et ce qui est mauvais sur l'affiche d'avant // c'est ça Anthony / il y a un tri entre ce qui est bon et ce qui est mauvais et là il n'y a pas de tri / c'est ça	
45- Kévin :	Y a un <u>tri au niveau des intestins</u>	Gestion de l'hétéroglossie avec extension de l'objet du discours par ajout : <u>il y a un tri au niveau des intestins</u> (montre sur l'affiche) en 47.
Structure de l'explication produite	Sur la plan épistémique	Indicateurs langagiers
	Les nutriments (= aliments) ↓ Oesophage ↓ Estomac ↓ Intestin (il y a un tri) ↓ Sang ↓ Muscle (nourrissent les)	Ils passent Et ils passent Et...

La structure de l'explication proposée reprend le format linéaire rencontré lors de la présentation du premier groupe d'élèves. On retrouve le même type d'indicateurs langagiers. L'explication est ensuite explicitée par deux reprises-modifications.

Nous pouvons noter l'intervention de Léa en 43 qui critique l'explication au regard de la nécessité de tri (qui provient du travail réalisé sur la première affiche), nécessité qui ne serait pas respectée dans cette proposition. Cela peut vouloir dire que cette nécessité, envisagée dans un épisode précédent, semble admise par la classe. Cela conduit Kévin à réajuster l'explication donnée par rapport à cette nécessité de tri : le lieu du tri est indiqué à l'intervention 45 par une extension de l'objet du discours.

- Les épisodes 3 à 9 : la nécessité d'un tri et d'une transformation des aliments

1/ Les épisodes 3 et 4 permettent l'explicitation de l'affiche du groupe 2 autour de la question du tri et de la nature des éléments qui vont dans le sang. Le début de l'épisode 5 permet une nouvelle formulation de la nécessité de tri posée dans des termes différents de l'épisode 2.

52	Enseignant :	Donc il y aurait un tri quand même // et le tri il se fait comment // Pourquoi il faut qu'il y ait un tri
----	--------------	---

53	Kévin :	Bah / tout ce qui est mauvais / il faut pas qu'il aille dans le sang
54	Enseignant :	Pourquoi
55	Kévin :	Pour pas attraper des maladies

La nécessité du tri, signalée par la modalisation « *il faut pas* » en 53, est établie par un raisonnement similaire à celui présenté ci-dessus. C'est en appui sur le principe 2 (« dévalorisation de ce qui n'est pas utile et qui pourrait même avoir un effet néfaste pour l'organisme ») que Kévin fonde son raisonnement. Du point de vue du niveau de formulation de cette nécessité, on en reste à un bas niveau de formulation en relation directe avec des connaissances communes.

2/ La suite de l'épisode 5, l'épisode 6, 7 et le 8 permettent aux élèves de mesurer les points communs et les différences entre les deux affiches, sans construction de contraintes et de nécessités.

3/ L'épisode 9 permet la construction de la nécessité d'une transformation des aliments dont nous avons indiqué la possibilité lors de l'intervention 18 d'Angélique.

91	Enseignant :	Alors pourquoi vous ne les avez pas mis vous / à quoi ils servent / pourquoi vous les avez mis ici
92	Kévin :	Bah / ils dissolvent les aliments
93	Enseignant	Vous voyez que vous ne nous avez pas tout dit / donc ils ont ajouté deux organes pour dissoudre les aliments c'est ça / le foie et le pancréas // alors comment ils font pour dissoudre les aliments
94	Kévin :	Bah / ils envoient des acides //
95	Enseignant :	Ils envoient des acides / le foie et le pancréas envoient des acides pour dissoudre les aliments c'est ça // c'est-à-dire pour les rendre //
96	Kévin :	Ben / plus petit.
97	Enseignant :	Pour les rendre plus petit
98	Kévin :	Pour // pour qu'ils puissent aller dans le sang

Nous pouvons identifier un raisonnement (le « *pour que* » a statut d'indicateur conclusif dans l'intervention 98) qui permet à Kévin de construire la nécessité d'une transformation à partir d'une idée de transformation contenue dans le « *ils dissolvent* » en 92. Les questions de l'enseignant en « comment » (en 93) et en

« pourquoi » (en 97) permettent la construction d'un premier niveau de nécessité d'une transformation des aliments. Nous pouvons proposer deux interprétations possibles du raisonnement de Kévin.

a/ On peut mobiliser des éléments empiriques quotidiens comme la solidité de certains aliments consommés, la structure macroscopique du sang (liquide homogène sans particules discernables) et un élément du modèle : le rôle du sang dans le transport « de ce qui est bon » vers les organes (voir la discussion à propos de la présentation de la première affiche et le positionnement de la discussion dans un cadre épistémique précis). Ces différents éléments interviennent comme les prémisses implicites du raisonnement qui permet à Kévin de construire la nécessité d'une transformation des aliments : puisque les nutriments qui proviennent des aliments solides sont transportés par le sang, liquide homogène sans particules discernables, il faut nécessairement que les aliments aient préalablement subi une transformation qui a rendu les nutriments suffisamment petits pour qu'ils ne soient plus discernables dans le sang.

b/ On pourrait également penser que Kévin mobilise « le rôle du sang dans le transport de ce qui est bon vers les organes » et l'idée d'une distribution par des tuyaux, pour conclure à la nécessité de rendre les aliments plus petits pour que les nutriments puissent entrer dans ces tuyaux.

Dans les deux cas, le niveau d'implicite dans le raisonnement est très important et les éléments à notre disposition ne nous permettent pas de trancher. Dans nos deux hypothèses, nous pouvons constater que la contrainte théorique 1 est mobilisée. Cela traduit sa prise en compte par les élèves depuis sa formulation par Maxime en 12-13 ; même si la prise en compte de cette contrainte reste implicite, on voit comment elle peut orienter le raisonnement des élèves. Nous pouvons également noter une différence entre les raisonnements a/ et b/ : le premier conduit à la construction d'une nécessité isolée (il faut que les aliments soient transformés car il n'y a pas de morceaux visibles dans le sang), alors que le second raisonnement ouvre vers la question du passage des nutriments du tube digestif dans le sang. Dans le second cas, la nécessité construite, même si on en reste à un bas niveau de formulation, est potentiellement porteuse d'enchaînements problématiques dans la mesure où elle pourra être liée à d'autres nécessités (celle de tri et de distribution par exemple).

• Conclusion

La discussion autour de l'affiche du second groupe montre que la nécessité de tri, même si son niveau de formulation est bas, devient un critère d'évaluation des

explications des élèves, c'est-à-dire qu'elle pèse sur la recevabilité d'une explication de la nutrition et détermine le format d'une solution possible. Cette dynamique : la construction d'une nécessité de bas niveau de formulation qui devient un critère d'évaluation d'autres affiches est intéressante, du point de vue du processus de problématisation, puisque cela correspond à une première délimitation du champ des solutions possibles²⁵.

On notera également la construction d'une deuxième nécessité, celle d'une transformation des aliments. Le niveau de formulation de celle-ci reste également bas puisque le raisonnement qui permet de l'établir reste très implicite. Notons qu'en fonction du raisonnement inféré à partir des interventions des élèves, nous avons distingué deux types de nécessités : des nécessités isolées et des nécessités porteuses d'une possibilité d'enchaînements problématiques.

Afin de mesurer la pertinence de ces interprétations, il convient de suivre le devenir de ces nécessités dans la suite du débat.

2.2.2.3. Présentation de l'affiche du groupe 3 et épisodes 10 à 12

• La présentation du troisième groupe

Le tableau 4-8 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'explication donnée par les élèves du troisième groupe.

Tableau 4-8. La présentation du groupe 3 : analyse épistémologico-langagière

Christophe, Florian, Lolita et Maxime B. font partie du groupe 3

	<i>Intervention</i>	<i>Analyse épistémologico-langagière</i>
100- Florian :	Les aliments / ils passent dans l'œsophage et dans l'estomac (montre le trajet) / <i>il y a un tri</i> / ce qui n'est pas bon / <u>ya dans l'intestin grêle et</u> // et après est rejeté	Structure de l'explication qui prend la forme d'une mise en histoire
101- Enseignant :	Le tri il a lieu où // essayez d'être précis	
102- Florian :	<u>Dans l'estomac</u>	Extension de l'objet du discours : « <i>il y a un tri</i> » : le tri a lieu « dans l'estomac. »

²⁵ Notons que c'est à partir de savoirs quotidiens (sous la forme de la mobilisation de principes généraux) que se construit le premier niveau de formulation de la nécessité de tri qui permet le développement de la problématisation.

103-Enseignant :	Il y a un tri dans l'estomac // montrez nous « ce qui est bon » où ça va	
104- Florian :	<u>Ça va dans le cœur</u>	Extension de l'objet du discours : <u>ce qui est bon</u> , « ça va dans le cœur »
105-Enseignant :	D'accord et ce qui est mauvais	
106-Florian :	Bah / <u>dans l'intestin grêle</u>	Référenciation par répétition de « ce qui n'est pas bon <u>va dans l'intestin grêle</u> » : ce qui n'est pas bon « <u>va dans l'intestin grêle.</u> »
107-Enseignant	Est-ce que ça va là	
108- Collectif	Oui	
Structure de l'explication produite	Sur la plan épistémique	Indicateurs langagiers
	<pre> Les aliments ↓ Oesophage ↓ Estomac tri ↗ ↘ Ce qui est bon Ce qui n'est pas bon ↓ ↓ Cœur Intestin Rejet </pre>	Ils passent Et dans... Ce qui n'est pas bon va Et après Ça va

La présentation du groupe 3 reprend la structure de la présentation du groupe 1, dans une structure linéaire. La présentation de l'affiche permet une explicitation de l'explication donnée. On peut toutefois noter que le critère du tri varie au cours des trois premières présentations : le groupe 1 propose une distinction « utile / non utile », les groupes 2 et 3 une distinction « bon / mauvais ». Nous avons déjà discuté de la proximité de ces deux distinctions qui reposent sur des concepts catégoriels.

• L'épisode 10

Cet épisode permet aux élèves de mesurer les écarts entre les affiches relativement à l'absence de l'air dans les explications données. Dans ce cas, aucun raisonnement n'est mené et la discussion en reste à un niveau descriptif.

• L'épisode 11 : la construction de la nécessité d'un retour sanguin et d'une circulation à sens unique

Au cours de l'épisode 11, deux questions sont abordées :

- la question relative à la façon dont est organisée la distribution du sang²⁶ (117-145) ;
- la question relative à la mise en mouvement du sang dans les vaisseaux sanguins (146-172).

²⁶ Partie de l'épisode qui correspond à la question 10 dans la figure 4-7.

Nous avons donc choisi, dans un premier temps, de présenter l'analyse épistémologico-langagière de la première partie de l'épisode 11 au cours de laquelle les élèves vont construire l'impossibilité d'une distribution par irrigation et la nécessité d'un retour sanguin.

▫ *Analyse de la première partie de l'épisode 11 (117-145)*

L'analyse de cet épisode est présentée dans le tableau 4-9.

Tableau 4-9. Analyse épistémologico-langagière de la première partie de l'épisode 11

	Intervention	Analyse épistémologico-langagière
116 - Maëva ²⁷ :	Bah / pour le cœur il y a aussi une <u>circulation</u>	le cœur → la circulation avec thématization de circulation qui devient l'objet dont on va parler.
117 – Enseignant :	Alors / est-ce qu'il y a une <u>circulation</u> là	
118 - Maëva :	Il y a une partie / <i>mais il y a que</i> deux <u>canaux</u>	1/ Construction de l'objet du discours par opération γ_2^{28} : la circulation → <u>canaux</u> . 2/ « <i>mais il y a que</i> » expression réductrice signale un écart entre le schéma présenté par le groupe 3 et l'idée que se fait Maëva de la distribution.
119 – Enseignant :	Maëva // Allez-y / allez-y	
120 - Maëva :	<i>Il faut plus de canaux / y en a que</i> deux là	« <i>mais il y a que deux canaux</i> » → « <i>Il faut plus de canaux</i> » : Glissement du descriptif vers la construction d'une nécessité, modalisation déontique.
121 - Enseignant :	Alors / est-ce que cela peut circuler avec vos deux tuyaux / c'est ça la question / un / Maëva	
122 - Maëva :	Bah non / <u>ça passe juste</u>	1/ Actualisation qui détermine « l'angle de présentation de l'objet » la circulation → « <u>ça passe</u> ». 2/ « juste » stratégie qui minimalise le processus d'actualisation en indiquant la réduction à une caractéristique élémentaire de la circulation.
123 - Enseignant :	Oui / Sabrina	
124 – Sabrina :	<u>Ça fait pas un cycle</u>	1/ Nouvelle construction de l'objet du discours par une opération γ_2 : la circulation → <u>faire un cycle</u> . 2/ La négation « <i>pas</i> » signale la dissonance.
125 - Enseignant :	Ça fait pas un cycle / mais pourquoi il faudrait que ça fasse un cycle	
126 - Benoît :	<u>Pour pouvoir le changer</u>	Extension de l'objet du discours « <u>faire un cycle</u> » par ajout logique : « <u>pour pouvoir le</u>

²⁷ Maëva est une élève du groupe 4.

²⁸ Opération qui puise dans le faisceau d'objet, « γ_2 introduit un ingrédient, c'est-à-dire un élément hétérogène relativement à la classe distributive à laquelle appartient l'objet de départ » (Grize, 1997, p. 83).

		<i>changer</i> ».
127 - Léa :	<u>Pour pouvoir que le sang s'en aille</u>	Double reprise-modification de 126 : - par référenciation : « <u>le</u> » → « <u>le sang</u> » ; - par une modification du statut de « <u>le sang</u> » qui passe de celui sur lequel « on » exerce une action, à celui qui agit « s'en va ».
128 - Enseignant :	Pour renouveler le sang // alors comment il est renouvelé le sang ici	
129 - Enseignant :	Maxime / vous étiez // vous pouvez les aider / ceux qui étaient dans le groupe quand il y a des questions ils peuvent intervenir	
130 - Enseignant :	Ça va rester en suspens cette histoire de circuit / là	
131 - Maëva :	Bah / ça veut dire que si ça marche comme ça / ça veut dire que le sang il arrive au muscle <u>mais il repart pas</u> // donc il y a trop de sang dans le muscle // si on regarde leur schéma	1/ Décontextualisation / recontextualisation du discours : « si ça marche comme ça ». Essai pour entrer dans un nouveau contexte, un point de vue autre. 2/ Reprise-modification de 122 et 124 par référenciation (la même qu'en 127) de « ça » → « le sang ». 3/ Réduction de l'hétéroglossie par couplage de 122 et 124 qui se traduit par une dénivellation : « Donc » ²⁹ .
132 - Enseignant :	Oui / alors si on regarde leur schéma / allez-y // vous avez entendu Maxime ce que dit Maëva	
133 - Maxime :	Bah oui / Maëva / elle a raison parce que	
134 - Enseignant :	Alors / attendez / on recommence / tout le monde écoute on va essayer se de débrouiller avec ça / alors // donc vous vous dites Maëva / allez-y	
135 - Maëva :	Si ça fonctionnait comme ça le sang il arrive au muscle / <u>mais il ne repart pas</u> donc ça fait trop de sang dans le muscle	1/ Reprise de 131 avec décontextualisation / recontextualisation marquée par : - le changement de monde : « marcher » → « fonctionner » ; - le changement de mode verbal : irréal du présent (=négation) → imparfait. 2/ Réduction de l'hétéroglossie par couplage de 122 et 124 qui se traduit par une dénivellation : « ça ». 3/ « <u>donc</u> » : marqueur de déduction logique ³⁰ .
136 - Enseignant :	Maxime	
137 - Maxime :	Bah normalement // moi je pense que <u>c'est</u> plutôt <u>un circuit qui se passe</u> / <u>faudrait qu'il y ait un retour</u>	1/ Reprise-modification de 131-135 : « <u>mais il repart pas</u> » → « <u>il faudrait qu'il y ait un retour</u> ». « En fait » est ici conclusif et

²⁹ Nous interprétons ce « donc » comme une dénivellation au sens de Grize, c'est-à-dire une reprise récapitulative d'un ensemble de remarques plus ou moins éparses pour les poser comme affirmation. En effet, nous pensons que le « trop », qui traduit une modalisation appréciative, correspond à une incitation à changer de point de vue (description -> fonctionnement), cela nous amène à proposer que le « donc » ne peut pas être interprété comme un marqueur de déduction logique.

³⁰ Cette fois, nous interprétons le « donc » comme un marqueur de déduction logique, car la dénivellation observée en 131 est assurée par le « ça ». De plus l'énoncé qui suit est de nature fonctionnelle.

	en fait / du sang	signale un nouveau point de vue. ↳ Nouvelle construction de l'objet du discours par une nouvelle opération γ2 : la circulation → « <u>c'est un circuit qui se passe</u> ». 2/ Orchestration de l'hétéroglossie par la modalisation (moi, je pense que ; plutôt ; faudrait).
138 - Enseignant :	Un retour où	
139 - Maxime :	Vers le cœur et du cœur vers l'estomac	Extension de « retour » par ajout chronologique.
140 - Maëva :	Le sang / il passe dans le muscle mais il reste pas	Réduction de l'hétéroglossie par couplage de 135 avec 137 pour construire l'objet du discours, c'est-à-dire la circulation.
141 - Enseignant :	Le sang il passe dans le muscle et il reste pas	
142 - Maxime :	Nan / bah nan / <u>il dépose ce qui est bon.</u>	Actualisation de « le sang » en 140 : « il dépose ce qui est bon »
143 - Enseignant :	Et pourquoi il ne peut pas rester dans le muscle	
144 - Maxime :	Bah si il s'accumule	Décontextualisation / recontextualisation : « Si ... »
145 - Benoît :	À force / il y aura trop de sang // il va éclater	1/ Reprise de 144 par ajout chronologique : « A force) 2/ Réduction de l'hétéroglossie par reprise modification de 131 : « il y a trop » → « il y aura trop » et déduction logique.

Revenons rapidement à la construction de l'impossibilité d'une distribution par irrigation. Elle est travaillée par Maëva dans l'intervention 131 et construite sur le modèle suivant : « si X, pas Y donc trop de Z, ce qui est impossible (sous-entendu) ». Ce raisonnement permet d'établir la nécessité affirmée comme telle par Maxime en 137.

Plusieurs caractéristiques de cette construction méritent d'être discutées et, tout d'abord, l'évolution de l'objet construit ainsi que ses principaux attributs.

La nature de l'objet construit et ses principaux attributs

Dès la première intervention, Maëva (116) déplace le débat d'une généralité descriptive (« ça va dans le cœur ») vers le thème de la circulation. L'objet du discours étant suffisamment focalisé (Rebière, 2000, p. 240), cela favorise le développement d'un discours de nature scientifique sur ce thème. Le tableau 4-10 reprend les transformations progressives de l'objet du discours : {la circulation}.

Tableau 4-10. Les transformations de l'objet {circulation}

N° intervention	Transformation de l'objet {circulation}	Caractéristiques de l'objet.
118, 122	Circulation → canaux → ça passe	La circulation c'est un système de tuyauterie dans lequel quelque chose est mis en mouvement.
124, 126,	Circulation → faire un cycle pour que le sang	La circulation c'est une mise en mouvement du

127	s'en aille	sang qui se répète de façon cyclique.
137, 139, 140, 142.	Circulation → « c'est un circuit avec le sang qui passe dans les muscles, dépose ce qui est bon dans le muscle et retourne vers le cœur ».	La circulation c'est un réseau de tuyau qui permet au sang de circuler en déposant ce qu'il contient dans le muscle.

À partir de l'annonce du thème par Maëva, l'objet {circulation} va être reconstruit trois fois par des opérations d'objet internes de type γ_2 (Grize, 1997, pp. 82-89). Cela permet d'enrichir la classe objet {circulation} au fil du discours.

Les trois reconstructions ne sont pas indépendantes puisque la troisième intègre les caractéristiques des deux premières. Elle ajoute la notion d'échange entre le sang et les muscles.

L'orchestration de l'hétéroglossie dans le débat scientifique doit nous amener à comprendre comment les trois reconstructions sont articulées.

L'orchestration de l'hétéroglossie et la problématisation

La gestion de l'hétéroglossie par les élèves, durant le débat, est source, dans leurs discours, de dissonances qui signalent des difficultés à prendre en charge les différentes voix présentes dans le débat.

La première dissonance rencontrée en 118 (« *Il y a une partie, mais il y a que deux canaux* ») se manifeste par l'usage de la conjonction « *mais* » et de l'expression réductrice « *il y a que...* ». L'énoncé articulé autour de « *mais* » indique que Maëva ne peut pas prendre en charge simultanément les deux énoncés suivants :

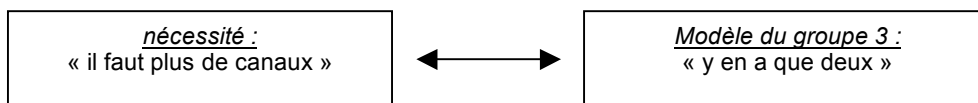
- celui proposé par le groupe 3 : la distribution est assurée par un tuyau reliant le cœur au muscle (annexe 2) :
- la représentation qu'elle se fait (et qu'elle dit), à ce moment du débat scientifique³¹, de la circulation sanguine par circuit clos.

C'est le conflit entre la conception de la distribution de Maëva et la proposition d'un modèle de circulation par irrigation, par le groupe 2, qui génère cette dissonance.

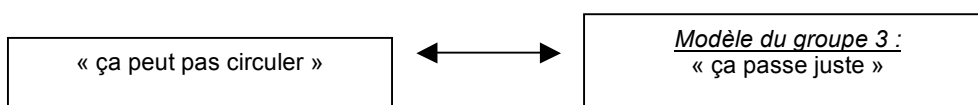
Du point de vue de la problématisation, nous pouvons dire que cette dissonance est révélatrice d'une prise de conscience par Maëva du problème de la circulation. C'est ce que nous appelons, à la suite d'Orange (2005), le problème perçu. Vu la part d'implicite qui subsiste dans l'intervention de Maëva, il est peu probable que les autres élèves de la classe aient perçu ce problème. Suivons la construction du problème de la distribution dans la suite du débat.

³¹ La conception de la circulation de Maëva a dû se modifier depuis l'évaluation diagnostique et le travail de groupe, puisque dans ces deux situations Maëva a produit une distribution par irrigation (annexe 2).

Encouragée par l'enseignant (119), Maëva tente une première explicitation (120) de ce qui fait problème. Elle met en relation critique le schéma proposé par le groupe 3 et une nécessité qui ne serait pas respectée ici :



Cette mise en relation permet à la discussion de glisser de la simple description à un début de construction de problème. Les relances de l'enseignant orientent le débat dans ce sens. L'intervention 122 centre définitivement le problème sur le fonctionnement de la distribution. Maëva explicite une nouvelle mise en relation critique :



L'emploi d'une expression réductrice (« *juste* ») permet à Maëva de réfuter le modèle du groupe 3, la circulation ne peut pas se réduire à un simple déplacement du sang. Du point de vue de la problématisation, Maëva commence à construire le problème de la circulation. Nous pensons que cette intervention traduit aussi le début d'un travail de l'obstacle distribution par irrigation. En effet, la distribution par irrigation constitue un obstacle à la construction d'une distribution par circulation sanguine puisque c'est une idée qui persiste envers et contre (presque) tout, parce qu'elle est satisfaisante à certains égards³², surdéterminée de façon inconsciente et confortable³³. C'est parce qu'avec cette intervention Maëva questionne l'évidence de l'irrigation que nous pensons qu'il s'agit d'une étape dans le travail de cet obstacle (Astolfi & Peterfalvi, 1997).

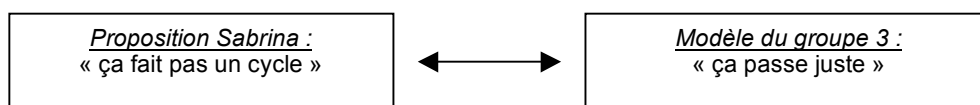
L'utilisation d'une négation par Sabrina (« *pas* » en 124) souligne la seconde dissonance. Celle-ci atteste de l'impossibilité du modèle de distribution du groupe 3 qui ne présente pas de cycle. Le déplacement de la construction de l'objet du discours permet à la problématisation de se développer. L'orientation du débat est favorisée par l'enseignant qui pose une question en « pourquoi ? ». Cette relance permet de poursuivre l'explicitation de la mise en relation critique par Benoît et Léa (126 : « *Pour pouvoir le changer* », 127 : « *Pour pouvoir que le sang s'en aille* »).

³² « Par exemple, le sang, la sève s'écoulent comme l'eau. L'eau canalisée irrigue le sol ; le sang et la sève doivent irriguer eux aussi. C'est Aristote qui a assimilé la distribution du sang à partir du cœur et l'irrigation d'un jardin par des canaux. Et Galien ne pensait pas autrement. Mais irriguer le sol, c'est finalement se perdre dans le sol. Et c'est là exactement le principal obstacle à l'intelligence de la circulation. » (Canguilhem, 1968/2003, p. 26-27).

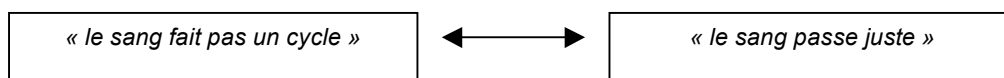
³³ « Il [l'obstacle] témoigne plutôt d'un certain confort intellectuel que le sujet tend à préserver, car il lui est plus commode de penser les choses dans ces termes-là » (Peterfalvi, 2001, p.35).

La reformulation de la contradiction par l'enseignant en 128 est inefficace car la décontextualisation par rapport à la présentation du groupe 3 / recontextualisation dans un univers plus scientifique qu'il propose est brutale : un changement de monde s'effectue par glissement lexical : passage du monde quotidien (« *aller* ») au monde scientifique (« *renouveler* »). La reformulation de l'enseignant provoque un arrêt dans la dynamique du débat (129, 130).

En 131, Maëva procède à deux opérations qui vont permettre à la problématisation de reprendre. Il s'agit, d'une part, d'une opération de décontextualisation /recontextualisation du débat (« *si ça marche comme ça* ») qui ramène la discussion au modèle du groupe 3. D'autre part, Maëva procède à une réduction de l'écart entre des voix entendues précédemment, la sienne, celle de Sabrina et celle de Léa³⁴, c'est ce que nous appelons un couplage hétéroglossique. Tout d'abord, Maëva reprend la référenciation de Léa (127, « *Pour pouvoir que le sang s'en aille.* ») à propos d'un énoncé qu'elle a produit précédemment (122, « *Bah, non, ça passe juste.* »). Elle fait de même avec celui de Sabrina (124, « *Ça fait pas un cycle.* ») : « *ça* » → « *le sang* ». Ensuite, elle assure le couplage entre deux mises en relation critiques :



Qui deviennent après référenciation :



La recontextualisation proposée permet d'obtenir « *le sang passe juste* » → « *le sang il arrive au muscle* ». Cette nouvelle mise en relation critique explicite la critique qu'elle formule au groupe 3 : « *mais il repart pas* ». Ici, Maëva tente de convaincre ses pairs de l'impossibilité soulevée. Cette interprétation est renforcée par l'utilisation du « *donc* » en 135 qui vient souligner la cohérence logique de sa proposition.

Comme le précise Orange, établir l'impossibilité d'une solution envisagée par des élèves (ceux du groupe 3 ici), en l'occurrence l'impossibilité d'une distribution par irrigation, est au « *cœur de la problématisation* » (2003, p. 89). À ce point du débat, l'impossibilité d'une distribution par irrigation est établie, mais aucune nécessité concernant la façon dont doit être assurée la distribution n'est établie.

³⁴ Nous pensons que les deux dénivellations en 135 (« *donc* ») et en 137 (« *ça* ») viennent renforcer l'interprétation que nous proposons d'un couplage entre plusieurs voix dans le discours de Maëva.

La troisième reconstruction proposée par Maxime est moins dissonante que les deux premières puisque Maëva vient d'établir l'impossibilité du modèle de distribution par irrigation. La double modalisation (« *Moi, je pense que...* ») concernant à la fois le sens du mot « penser » et l'accentuation due à la reprise du « *moi* » en « *je* » traduit une prise en charge énonciative forte. C'est pourquoi nous proposons que l'intervention 137 intervienne comme une voix de plus dans le débat.

Cependant, Maxime reprend aussitôt les énoncés de 131 et 135 de Maëva pour résoudre la contradiction qu'elle a pointée. Cela permet d'établir la nécessité d'un retour : « *mais il repart pas* » → « *il faudrait qu'il y ait un retour du sang vers le cœur et du cœur vers l'estomac* ». Du point de vue de la problématisation, c'est bien l'orchestration de l'hétéroglossie qui permet l'accès à la nécessité d'un retour du sang.

Aussitôt après avoir établi cette nécessité, Maëva procède à un couplage hétéroglossique entre sa proposition (135) et celle de Maxime (137). Dans ce cas, la réduction de la discordance se traduit par :

- un glissement lexical « *arriver* » → « *passer* » ;
- l'importation de la condition construire par Maxime (« *il faudrait un retour du sang* ») qui permet à Maëva de substituer « *rester* » à « *repartir* ».

Ce couplage explique l'intervention « *le sang il passe dans le muscle, mais il reste pas* » (140), construite exactement sur le même modèle que l'intervention 135 (« *le sang il arrive dans le muscle, mais il ne repart pas* »). Cela permet à Maëva de présenter une nouvelle solution possible qui respecte la condition formulée par Maxime. Ce mouvement d'extraction d'une nécessité construite pour en faire une condition sur les solutions possibles nous semble être un mouvement langagier qui témoigne d'une montée en abstraction.

La relance de l'enseignant « en pourquoi » en 143 permet d'explicitier l'impossibilité d'une distribution par irrigation. Le fragment de l'intervention de Maxime permet la décontextualisation qui va permettre à Benoît de conclure. La conclusion procède aussi d'une orchestration des voix de Maxime (144) et de Maëva (131) qui permet la formulation de la conséquence logique : si le sang s'accumule dans le muscle, celui-ci va finir par éclater. Du point de vue de la problématisation, c'est la deuxième fois que cette impossibilité est établie. À la différence de la première occurrence, le raisonnement logique est explicité.

Conclusion

La critique formulée par Maëva porte sur l'affiche (avec schéma) présentée par le groupe 3 et non uniquement sur la présentation orale qui en a été faite. Nous avons

montré que l'objection de Maëva concerne la façon dont est représentée la distribution des nutriments aux muscles par l'intermédiaire de tuyaux sanguins. Il s'agit d'une distribution par irrigation. Cette objection va permettre, à la fois, une discussion critique du modèle de distribution par irrigation et la proposition d'une thèse concurrente (thèse 2) sous la forme d'une distribution par un circuit sanguin.

La mise en discussion critique de la distribution par irrigation conduit à établir son impossibilité, d'autant plus qu'aucun argument en faveur de la distribution par irrigation n'est avancé. Certains discours des élèves de la classe montrent que la théorie explicative de la distribution par irrigation est incompatible avec la connaissance commune : dans le cas d'une distribution par irrigation, le sang va dans le muscle, mais ne repart pas, ce qui pourrait entraîner une accumulation de sang dans le muscle (144), ce qui est impossible car cela aurait comme conséquence de le faire éclater (145).

Parallèlement à cette réfutation, nous voyons se développer la thèse 2 à partir de la proposition de Sabrina (124). Cette thèse propose une distribution par circulation (« *c'est plutôt un circuit* » (137)), théorie qui, d'une part, répond à la critique formulée envers le modèle de l'irrigation puisque le « *sang passe dans le muscle, mais il ne reste pas* » (140) et, d'autre part, permet toujours la distribution de nutriments aux muscles (« *il dépose ce qui est bon* », 142).

Nous avons dans cet épisode un double mouvement argumentatif qui montre l'impossibilité d'une thèse (irrigation) et qui vient étayer une autre thèse (circulation). Cette discussion critique, même si elle n'établit pas totalement le modèle de la distribution par circulation, permet vraiment de « *justifier rationnellement la préférence pour une théorie prise dans un ensemble de théories concurrentes, à un moment donné ; c'est-à-dire en fonction de l'état présent de la discussion* » (Popper, 1991, p. 148).

Une autre façon de faire revenir le sang au cœur (thèse 3) sera, par la suite, mise en concurrence avec la théorie de la distribution par circuit sanguin³⁵.

Nous sommes en présence d'un épisode fortement argumentatif que l'on peut présenter sous la forme d'une structure argumentative (Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009) qui sera présentée à la figure 4-8³⁶. Cela va nous permettre de rendre compte du processus argumentatif analysé de façon microscopique.

³⁵ Nous entendons circulation ici dans le sens d'un retour du sang au cœur par un autre chemin, sans forcément que la circulation sanguine soit construite dans son acception scientifique actuelle.

³⁶ Nous allons présenter une seule structure argumentative pour la première partie de l'épisode 11 et la seconde partie puisque les argumentations s'enchaînent.

▫ *La fin de l'épisode 11 (146-172)*

La seconde partie de l'épisode 11 concerne la question du rôle du cœur dans la mise en mouvement du sang dans le circuit sanguin (question 11 dans la macrostructure du débat présenté à la figure 4-7). Nous avons choisi de ne pas présenter d'analyse épistémologico-langagière de cet épisode, puisqu'il s'agit d'une opposition de thèse où les deux thèses en présence (concernant la distribution du sang) sont facilement identifiables et s'affrontent :

- une distribution avec va-et-vient du sang dans les mêmes tuyaux (Kévin) ;
- une circulation du sang en sens unique (Maxime et Maëva).

Ces deux thèses vont être soumises à une discussion critique par un double mouvement de développement de la thèse et d'objections à la thèse.

Dans un premier temps, Maxime tente de réfuter la proposition de Kévin en questionnant le rôle du cœur et en proposant que le sang ne soit pas aspiré mais seulement propulsé (166, 168). Pour cela Maxime s'appuie sur un raisonnement analogique où le cœur est assimilé à une pompe³⁷ (168) : ainsi si le cœur est une pompe, il y a une entrée et une sortie et le liquide pompé (le sang) circule dans un seul sens. Ce raisonnement permet à Maëva et Maxime d'argumenter en faveur de la thèse d'une distribution par un circuit sanguin. Elle semble plus recevable que celle d'une distribution par va-et-vient dans le même tuyau sanguin.

La première partie de l'épisode 11 a permis de construire la nécessité d'un retour sanguin ; et cette nécessité, articulée avec l'analogie entre fonctionnement cardiaque et pompe, conduit un élève, Maxime, à affirmer un déplacement en sens unique du sang : « *il y a qu'un sens de circulation* » (172).

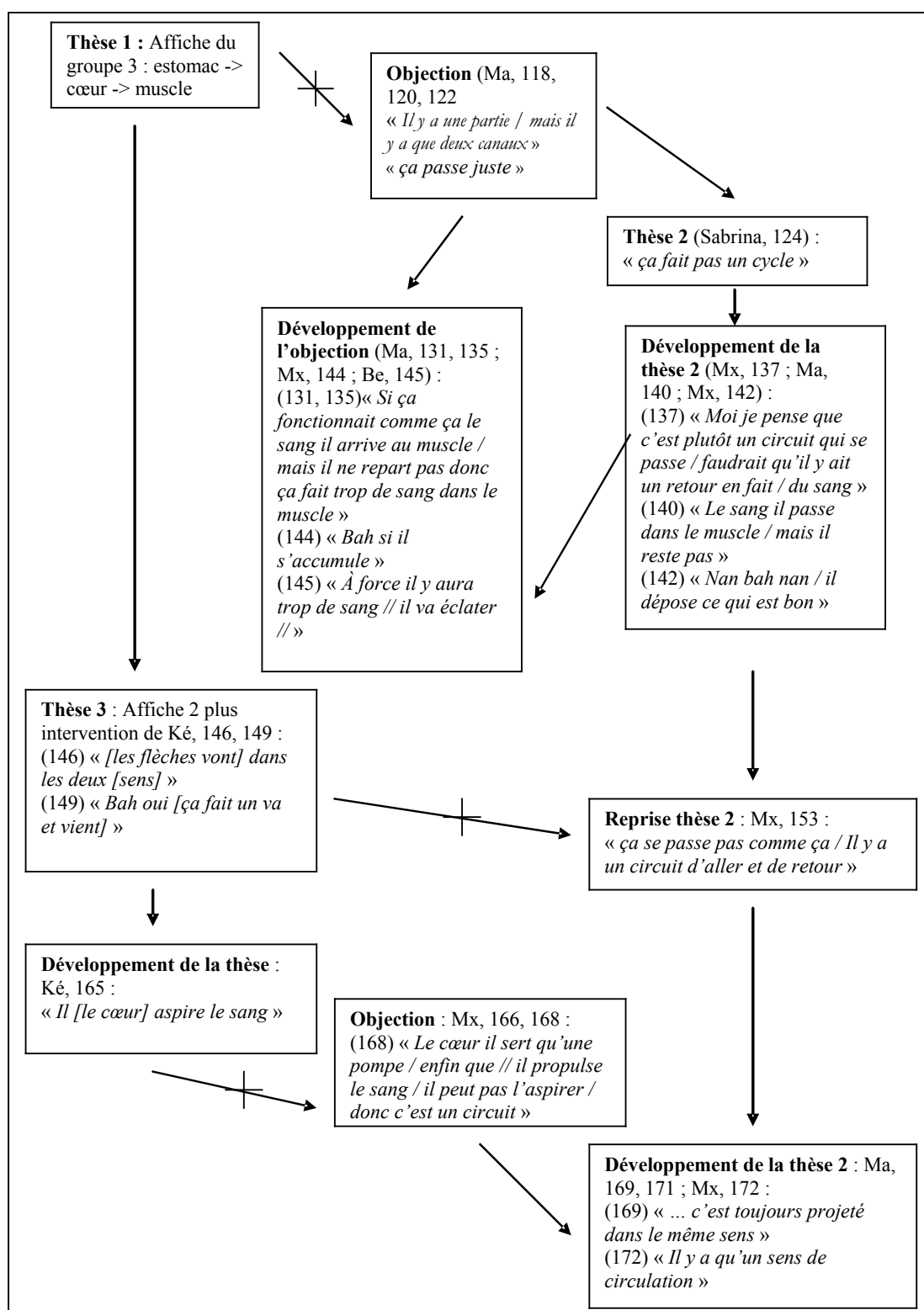
Il nous semble intéressant de noter que ces deux épisodes s'articulent l'un à l'autre, la seconde opposition (autour des questions de mise en circulation du sang) permettant de poursuivre l'opposition entre la thèse de la distribution par irrigation ou par un circuit sanguin. C'est pourquoi nous avons décidé de construire une structure argumentative commune aux deux parties de l'épisode 11.

▫ *La structure argumentative de l'épisode 11*

La figure 4-8 présente la structure argumentative de l'épisode 11.

³⁷ Analogie qui doit s'appuyer sur des savoirs construits précédemment, puisque la circulation sanguine est au programme de la classe de 5^e.

Figure 4-8. Structure argumentative de l'épisode I I



Au final, cet épisode argumentatif a permis de mettre en débat trois thèses pour expliquer la distribution des nutriments aux différents organes du corps : distribution par irrigation simple, distribution par des tuyaux sanguins, le sang ayant un mouvement de va-et-vient dans ces tuyaux et distribution par circulation sanguine.

La discussion critique des deux premières thèses a permis d'établir :

- l'impossibilité d'une distribution par irrigation simple ;
- la nécessité d'un retour du sang ;
- une nouvelle solution possible : la distribution par un circuit sanguin.

L'établissement de la nécessité d'un retour sanguin correspond à un processus de problématisation puisqu'il articule des contraintes empiriques (le muscle n'éclate pas, par exemple) avec une contrainte théorique : celle d'un approvisionnement des organes en nutriments par le sang. Cette discussion a également permis d'étayer la thèse de la distribution par circulation en articulant la nécessité d'un retour sanguin et l'idée d'un déplacement du sang en sens unique.

• L'épisode 12 : la nécessité d'une transformation des aliments

La comparaison de l'explication du groupe 2 et du groupe 3, en relation avec la présence des organes digestifs, permet de remettre l'idée de transformation des aliments en discussion.

184	Enseignant :	Pourquoi il faut que cela soit mis en tout petit
185	Florian :	Sinon / ça passerait pas dans le sang

À la fin de l'épisode 9, Kévin (98) avait justifié la transformation des aliments de la façon suivante : « *Pour // pour qu'ils puissent aller dans le sang* ». Nous avons alors proposé deux interprétations possibles pour comprendre cette proposition. L'intervention de Florian en 185 reprend, et en même temps déplace, la proposition de Kévin. Le raisonnement est partiellement explicité par l'emploi de « *sinon* » qui indique qu'il est impossible que les nutriments n'aillent pas dans le sang (c'est la contrainte théorique qui fonctionne ici). Or il n'est pas possible que les nutriments passent dans le sang sans être « *mis en tout petit* ». Compte tenu de la discussion qui menée à propos de l'organisation du circuit sanguin, le raisonnement de Florian peut être interprété de la façon suivante : comme il y a une paroi à traverser pour passer du tube digestif dans le sang, il faut nécessairement que les aliments soient transformés pour pouvoir être absorbés. Nous pensons que Florian construit la

nécessité de transformation dans le cadre d'un problème d'absorption tel que nous l'avons présenté dans la première section de ce chapitre, même si une partie des éléments qui interviennent dans le raisonnement reste implicite.

2.2.2.4. Présentation de l'affiche du groupe 4 et épisodes 13 à 23

• La présentation du quatrième groupe

Le tableau 4-11 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'explication donnée par les élèves du quatrième groupe.

Tableau 4-11. La présentation du groupe 4 : analyse épistémologico-langagière

Angélique H, Camille, Léa, Maëva, Maud font partie du groupe 4

	Intervention	Analyse épistémologico-langagière
187- Maëva :	En fait / les aliments / on les avale par la bouche // <i>ils sont mâchés</i>	
188- Enseignant :	Est-ce que tout le monde est d'accord avec ça	
189- Collectif :	Oui	
190- Enseignant :	Donc / les aliments rentrent par la bouche ok / on s'est à peu près mis d'accord sur le fait que ça rentrerait par la bouche	
191- Maëva :	C'est mâché <u>par les dents</u> et ça va <u>dans l'estomac</u> <u>là c'est trié</u>	1/ Actualisation de « <i>ils sont mâchés</i> » : « c'est mâché <u>par les dents</u> ... » 2/ Extension de l'objet du discours en ajout chronologique : « ... <u>et ça va dans l'estomac là c'est trié.</u> »
192- Enseignant :	Alors dans l'estomac	
193- Maëva :	C'est broyé / ça rend les aliments liquides // moi je pense que ce qui est gros c'est // ce qui est gros et ce qui est mauvais c'est rejeté // et puis ce qui est petit et ce qui est meilleur / en fait ça passe par le cœur et ça se transforme en sang et ça va dans le muscle // et ça fait un cycle dans le muscle	1/ Extension de l'objet du discours en ajout chronologique : « C'est broyé, ça rend les aliments liquides ... » 2/ Opération de couplage : « ... moi je pense que ce qui est gros c'est // ce qui est gros et ce qui est mauvais // et puis ce qui est petit et ce qui est meilleur / en fait, ça fait un cycle dans le muscle »

Structure de l'explication produite	Sur le plan épistémique	Indicateurs langagiers
	<p style="text-align: center;">Les aliments ↓ Bouche (ils sont mâchés) ↓ Estomac (c'est broyé) C'est trié ↘ Ce qui est gros et mauvais ↓ Rejet</p> <p style="text-align: center;">↗ Ce qui est petit et meilleur ↓ Cœur Sang ↓ Muscle</p>	<p style="text-align: center;">On les avale Et ça va Là, c'est Et puis Ça passe Et ça se transforme Et ça va Et ça fait</p>

Première remarque concernant la structure de l'explication proposée : elle reprend le format linéaire de l'explication 1 et 3.

Second point marquant : la double extension (191 et 193) va faire se rencontrer la question du tri et celle de la transformation. Dans l'estomac, Maëva parle de tri. Mais elle se rend aussitôt compte qu'elle a oublié de parler de la transformation, préalable au tri. À notre avis, cette double extension provoque le couplage en 193. La conjonction de coordination « *et* » semble montrer la collusion entre le critère du tri et le résultat de la transformation des aliments. Cette collusion fait intervenir, d'une part, une représentation préconstruite partagée par les élèves de la classe (les catégories doubles dont il a été question lors de l'analyse de l'épisode 2 dont l'une est dévalorisée) et, d'autre part, ce qui a été dit précédemment dans le débat sur la transformation des aliments (la nécessité de la transformation a été établie au niveau de l'épisode 9 et 14 de la façon suivante : « *pour qu'une partie des aliments puisse passer dans le sang, ils doivent être rendus plus petits par l'action des acides produits par le foie et le pancréas* »). Maëva procède à un couplage entre ces deux éléments (« *bon et petit* » versus « *mauvais et gros* »). Cette analyse, sur le plan épistémique, se trouve renforcée par deux indications langagières qui marquent, selon nous, le caractère conscient de cette mise en relation :

- il y a une rupture dans la prise en charge de l'énoncé de Maëva. Elle commence (187) par une énonciation neutre : « *En fait / les aliment, on les avale* » qui est semblable à celle utilisée par les deux groupes précédents. Cette prise en charge minimale se poursuit en 191 et 193. Après une phrase en 193 sur ce modèle, Maëva change son positionnement énonciatif par une modalisation (« *Moi, je pense que...* »).

- il y a aussi une rupture dans la phrase « *que ce qui est gros c'est // ce qui est gros et ce qui est mauvais* » qui traduit une rupture au niveau du savoir (Fillon *et al.*, 2004, p.245).

Ce phénomène peut être interprété de la façon suivante : Maëva tente d'intégrer, à l'énoncé qu'elle est en train de produire, un élément dont il a été question précédemment dans le débat et qui semble désormais admis par la communauté discursive. C'est en procédant à l'actualisation de son énoncé que la collusion entre le tri et la transformation se produit : cela permet de proposer une nouvelle solution possible. Les interventions 194-200 reformulent l'énoncé produit par Maëva en 193.

• L'épisode 13 : « il est où le cycle »

Le tableau 4-12 présente l'analyse épistémologico langagière de l'épisode 13.

Tableau 4-12. L'épisode 13 : analyse épistémologico-langagière

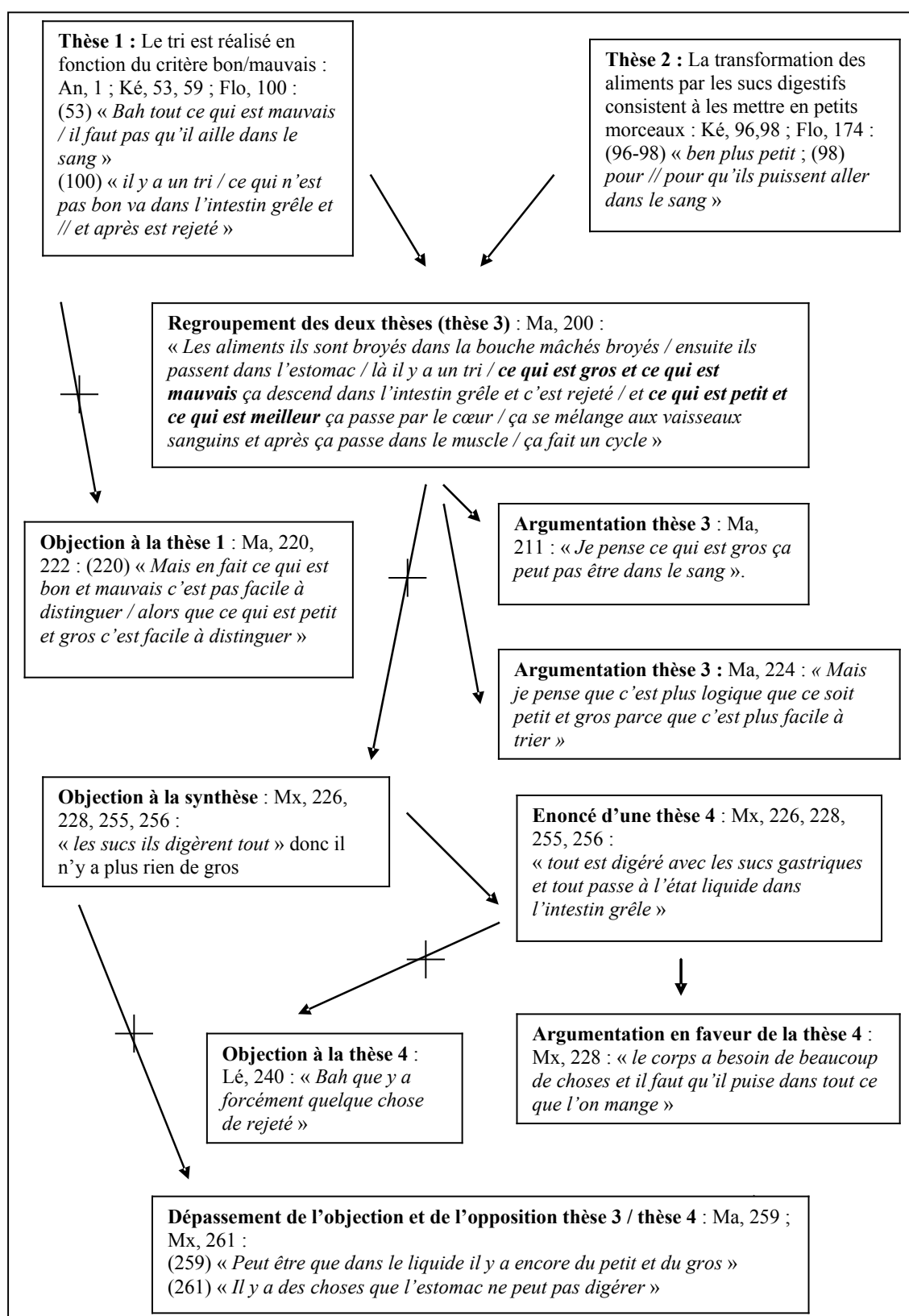
	Intervention	Analyse épistémologico-langagière
201 - Maxime :	Il est où le cycle ?	Critique concernant « ça fait un cycle » qui n'est pas représenté sur l'affiche (annexe 2).
202 - Léa :	On l'a pas fait le cycle.	
203 - Anthony :	Oui, mais ça revient par où ?	
204 - Maxime :	Y a un cycle	
205 - Maëva :	C'est le bleu en fait, mais on l'a pas fait (mais elle montre avec le doigt sur l'affiche un circuit clos).	
206 - Maxime :	C'est pas la même veine en fait, on va pas bien de loin, mais il y a deux circuits côte à côte.	Reprise modification de l'objet du discours : « cycle » -> « deux circuits côte à côte »
207 - Maëva :	Oui y a deux circuits.	
208 - Maxime :	D'accord.	
209 - Maëva :	On voit pas trop, mais	

La nécessité d'une distribution par un circuit sanguin est convoquée par Maxime et Anthony pour évaluer l'affiche du groupe 4. Les élèves de ce groupe, Léa et Maëva, s'engagent alors dans une négociation de leur explication (il y a un circuit que l'on n'a pas fait, mais qui existe quand même) pour que celle-ci soit acceptable par les autres élèves de la classe (l'explication proposée doit avoir un format acceptable).

- L'épisode 14 : « bon / mauvais » ou « petit / gros » ?

Cet épisode permet aux élèves de reprendre la discussion sur les critères du tri (question 5 de la macrostructure du débat) thématifiée et prise en charge par Maëva en 193 et en 200. La question étant suffisamment focalisée et les thèses en présence bien distinctes, nous avons choisi de construire la structure argumentative de cet épisode. Il est présenté à la figure 4-9.

Figure 4-9. Structure argumentative de l'épisode 14



Première partie de l'épisode 14 (210-224) : le lien entre critère de tri et transformation des aliments

Comme nous l'avons déjà précisé (présentation du groupe 4), jusqu'à l'intervention de Maëva (en 193), deux nécessités, celle du tri et celle de transformation ont été établies séparément. En 193, Maëva a procédé à un couplage hétéroglossique entre ces deux critères. Elle tente d'intégrer, à l'énoncé qu'elle est en train de produire, deux éléments dont il a été question précédemment et qui semblent désormais admis par la classe. Cela permet à Maëva de procéder à une agglomération des deux thèses, en proposant une nouvelle thèse où le tri se ferait selon le critère petit/gros. Cela lui permet d'articuler la question de la transformation des aliments à celle du tri.

La discussion conduit Maëva à objecter contre la thèse 1 (tri bon/mauvais) en 220 (« *ce qui est bon et mauvais, c'est pas facile à distinguer* ») et à argumenter pour la thèse 3 (tri petit/gros) en 211 (« *Je pense ce qui est gros ça peut pas être dans le sang* ») et 224 (« *Mais je pense que c'est plus logique que ce soit petit et gros parce que c'est plus facile à trier* »), sans lui permettre de conclure et de réfuter la thèse d'un tri selon les critères bon/mauvais, même si elle trouve que la thèse 3 est « *plus logique* ». Cette question du critère du tri va être reprise dans la seconde partie de l'épisode.

Deuxième partie de l'épisode 14 (225-261) : lien entre critère de tri, transformation des aliments et absorption des nutriments

Maxime prend en compte la thèse 3 d'un tri entre ce qui est petit et gros et il objecte que, comme les aliments subissent l'action des sucs digestifs, l'aliment est dans son intégralité transformé en éléments de petite taille (226, 228). La totalité du « petit » est absorbée et la question du tri ne se pose plus (thèse 4). Maxime argumente en faveur de la thèse 4 en 228, en expliquant que les besoins de l'organisme sont importants et qu'il doit profiter de tout ce qu'on mange.

Une objection à la thèse 4 est formulée par Léa en 240. La thèse d'une transformation complète de tous les aliments en nutriments (thèse 4) n'est pas compatible avec la connaissance partagée qui joue le statut de contrainte : « *Bah que y a forcément quelque chose de rejeté* » (240). Il nous semble que Maxime prend acte de cette objection en 242 : « *Ben nan nan après il y aurait un tri qui se fait entre le sang / enfin un tri / je sais pas si on peut dire un tri / mais le sang il absorbe ce qu'il a besoin* ».

C'est Maëva qui reprend alors la main, en 259, pour proposer un dépassement de l'objection à sa thèse (thèse 3) et, en même temps, de l'opposition entre la thèse 3 et la thèse 4 : « *Peut être que dans le liquide il y a encore du petit et du gros* ».

Ces tentatives de dépassement de l'objection représentent, elles aussi, un mouvement argumentatif intéressant car, comme l'indique Popper, « *bien défendre une théorie contre la critique fait partie intégrante de toute discussion féconde, car ce n'est que si on la défend que se révélera sa force et la force des critiques dirigées contre elle* » (1998, p. 398). Dans le cas étudié ici, la critique formulée par Léa à la thèse 4 est « forte » puisqu'elle s'appuie sur une nécessité stabilisée précédemment au cours du débat et la théorie d'un lien transformation-tri-absorption autour des critères petit/gros est « forte », elle aussi, puisqu'elle s'articule logiquement avec d'autres raisons de la nutrition.

Épisode 14 : conclusion

L'épisode argumentatif 14 met en débat deux thèses alternatives pour expliquer le tri entre ce qui est absorbé par le sang et ce qui est rejeté : tri bon/mauvais versus tri petit/gros.

La discussion critique de ces deux thèses a permis, d'une part, d'étayer la thèse d'un tri petit/gros en la mettant en cohérence avec la nécessité d'une transformation construite dans le débat mais, d'autre part, n'a pas permis de réfuter la thèse du tri bon/mauvais et donc d'établir totalement la nécessité d'un tri petit/gros même si, comme le dit Maëva : « *c'est plus logique que ce soit petit et gros parce que c'est plus facile à trier* » (224).

• Épisode 15, 16, 17 : comparaisons des productions de groupe

Les épisodes 15, 16 et 17 permettent une explicitation de l'affiche (épisode 15) et une comparaison entre les affiches présentées³⁸ sur les points suivants :

- la question de la circulation (organisation du cœur) ;
- la question du lieu du tri/transformation des aliments.

³⁸ Comme un tableau synthétique, indiquant les caractéristiques des différentes explications, est réalisé pendant le débat, même s'il n'y a que deux affiches visibles en même temps, les élèves peuvent faire des comparaisons transversales.

2.2.2.5. Présentation de l'affiche du groupe 5 et épisodes 18 à 19

• La présentation du cinquième groupe

Le tableau 4-13 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'explication donnée par les élèves du cinquième groupe.

Tableau 4-13. La présentation du groupe 5 : analyse épistémologico-langagière

	Intervention	Analyse épistémologico-langagière
282- Cindy :	Nous on a dit que les aliments / ils passent d'abord dans l'œsophage pour arriver dans l'estomac et c'est / là ils sont dissous par les sucs gastriques en fait // et puis après à la sortie de l'estomac <i>ils sont triés</i> / les nutriments / enfin ce qui est bon pour les muscles et tout ça, ça passe dans le foie et le reste ça passe dans l'intestin // et ce qui va dans le foie en fait / c'est / ça passe par la paroi jusque dans les vaisseaux sanguins et puis c'est conduit jusqu'au muscle	Structure linéaire de l'explication produite
283- Christophe :	Bah / là / elle parle du foie	Remarque d'un élève qui souligne qu'ici le foie intervient. L'enseignant interprète cette remarque comme une demande de précision concernant le rôle du foie
284- Enseignant :	Vous parlez du foie / quelle est la / alors pourquoi est-ce que vous parlez du foie // pourquoi vous parlez du foie vous étiez quatre / alors le foie / le foie il sert à quoi là	
285- Cindy :	Il sert à / il <u>reçoit les nutriments</u>	Extension de l'objet du discours par explication de « ça passe dans le foie » : le foie il sert à <u>recevoir les nutriments</u> et « à <u>les dissoudre plus</u> ».
286- Jean-Luc :	Bah / il sert à <u>dissoudre plus</u> / pour	
287- Enseignant :	Quand vous dites dissoudre ça veut dire quoi / c'est ce que vous disiez tout à l'heure / ça veut dire mettre liquide / c'est ça // transformer du solide en liquide. Pourquoi il faut que ça passe dans le foie avant d'aller dans le sang	
288- Jean Luc :	Pour que se soit <i>plus petit encore</i>	Extension de l'objet du discours par explication de « <u>les dissoudre plus</u> » : dissoudre davantage les aliments, ça leur permet d'être « <i>plus petit encore</i> ».
289- Enseignant :	Pour que ce soit plus petit encore	
290- Samuel :	Bah / oui	
291- Enseignant :	Est-ce que tout va dans le foie	
292- Jean-Luc :	C'est séparé avant d'aller dans le foie / c'est séparé dans l'estomac	Opération de référenciation par répétition de « <i>ils sont triés</i> » : il y a une séparation dans l'estomac.
293- Enseignant :	Il y a une première séparation au niveau de l'estomac	
294- Jean-Luc :	Ce qui est bon / ça va dans le foie / ce ...	Opération de référenciation par répétition « ce qui est bon pour les muscles et tout ça, ça passe dans le foie » : « ce qui est

		bon, ça va dans le foie »
295- Enseignant :	Dans l'estomac il y a une première séparation / c'est ça // il y a une première séparation entre ce qui est bon et ce qui est mauvais // et ensuite / ce qui est bon ça va dans le foie / le reste c'est rejeté / c'est ça // et ce qui est bon / si je comprends bien c'est re-dissous une seconde fois au niveau du foie / oui // une fois que c'est dissous / qu'est-ce que cela devient	
296- Jean-Luc :	Après ça va dans les vaisseaux sanguins <u>pour aller avec le sang</u>	Opération de référencement par répétition de « <i>ça passe par la paroi jusque dans les vaisseaux sanguins</i> » : après le passage dans le foie, « <i>ça va dans les vaisseaux sanguins pour aller avec le sang</i> ».
297- Enseignant :	Pourquoi il faut que ce soit re-dissous une seconde fois	
298- Jean-Luc :	Les choses ne sont pas bien dissoutes par l'estomac	Opération de référencement par répétition de 285-286 : la seconde transformation dans le foie est nécessaire « <i>pour que tout soit dissous</i> ».
299- Cindy :	Il peut pas <u>tout</u> dissoudre	
300- Enseignant :	Il peut pas tout dissoudre // bon / pourquoi il faut que ce soit tout dissous	
301- Cindy :	Parce que si c'est pas assez dissous ça peut pas aller <u>dans</u> la paroi	Argumentation de preuve : « <i>parce que si c'est pas assez dissous, ça peut pas aller dans la paroi</i> ».
302- Enseignant :	Donc la dissolution vous voyez / qu'elle sert / elle permet que cela puisse passer dans le sang // c'est ça / au niveau du circuit du sang / montrez-nous le circuit du sang dans l'organisme	
303- Cindy :	Ça va du foie / jusque dans les muscles	
304- Enseignant :	Vous avez vu le circuit / qu'est-ce que vous en pensez du circuit qu'ils proposent	
305- Anne-Laure :	par contre / y a pas de // y a pas de retour	Critique d'Anne-Laure
306- Enseignant :	Il n'y a pas de retour / alors il y en a un ou il n'y en a pas	
307- Samuel : (en montrant l'affiche)	On n'a pas marqué la suite / mais	Extension de l'objet du discours par ajout entre « <i>ça passe par la paroi jusque dans les vaisseaux sanguins</i> » « <i>et puis, c'est conduit jusqu'au muscle</i> » : « <i>On n'a pas marqué la suite, mais ...</i> » (Samuel 307) puis « <u>Ca fait un circuit dans le corps</u> quoi » (Cindy 309).
308- Enseignant :	Alors montrez-nous comment ça pourrait faire la suite	
309- Cindy :	<u>Ca fait un circuit dans le corps</u> quoi	
310- Samuel :	En fait / y a un truc / un vaisseau sanguin qui récolte le sang qui n'a plus de nutriments et en fait comme le cœur ça propulse le sang / ça fait un circuit.	
311- Enseignant :	Ça fait un circuit ...	
312- Samuel :	Fermé	Reprise modification de (307-309): c'est un circuit qui est fermé .
313- Enseignant :	Fermé / ça fait un circuit fermé / ça fait un circuit fermé / il y a une partie de l'autre coté / vous avez uniquement représenté les vaisseaux qui contiennent les nutriments // c'est ça	
314- Samuel :	Ouai	

Structure de l'explication produite	Sur le plan épistémique	Indicateurs langagiers
	<p style="text-align: center;">Les aliments ↓ Oesophage (ils sont mâchés) ↓ Estomac (ils sont dissous) A la sortie de l'estomac, c'est trié ↙ Ce qui est bon Les nutriments ↓ Foie ↘ Le reste ↓ Intestin ↓ Vaisseaux sanguins ↓ Muscle</p>	<p style="text-align: center;">Ils passent d'abord... pour arriver Et c'est là Et puis après Et tout ça, ça passe Et le reste, ça passe Et ce qui va Ça passe par... jusque dans Et puis c'est conduit jusqu'au</p>

Plusieurs points méritent d'être discutés à partir de l'analyse de cette présentation.

1/ La structure de l'explication produite prend le format linéaire mis en évidence dans les toutes autres présentations.

2/ La référenciation en 296 nous semble importante dans la construction de la nécessité d'absorption. En effet, Jean-Luc, à la suite de Cindy, distingue le sang (le contenu) des vaisseaux sanguins (le contenant). Cette séparation contenu/contenant, même si c'est la seconde fois qu'elle apparaît (intervention 14 : « [Comment les nutriments vont-ils jusqu'aux muscles] Par les vaisseaux sanguins / quand ça passe dans le sang »), permet - ce qui n'avait pas été le cas précédemment - de commencer à construire la nécessité d'une absorption à travers la paroi perméable des vaisseaux sanguins, perméable. Cette perméabilité est nécessaire pour que les nutriments passent de l'intérieur du tube digestif dans le sang. La construction de cette explication, qui sépare le contenant du contenu, permet d'initier un véritable travail sur l'obstacle « *tuyau continu à paroi perméable* » (Clément, 1991, p.151), obstacle récurrent dans les recherches en didactique de la biologie sur ce thème quel que soit le niveau de scolarité (Giordan & de Vecchi, 1987 ; Clément, 1991 ; Carvalho et al., 2007). Il nous semble que c'est l'argumentation de preuve, établissant l'impossibilité d'une distribution par des tuyaux sanguins, conduite par la classe en 118-145 qui rend possible le travail de l'obstacle. Il convient de noter que le pilotage du débat, par l'enseignant, ne permet pas de construire totalement la nécessité d'une paroi perméable. L'enseignant n'ayant pas identifié cette nécessité *a priori*, il ne la questionne pas.

3/ Le « **tout** » utilisé en 299 indique que tout ce qui arrive dans le foie est transformé. Cela signifie que les élèves de ce groupe ont procédé à une séparation de la question du tri et de celle de la transformation. Depuis le début du débat, la question du tri et celle de la transformation ont été traitées séparément. C'est Maëva qui avait associé ces deux questions lors de l'intervention 193. Cela l'avait conduit à

choisir entre le critère du tri (bon/mauvais) et celui de la transformation (petit/gros) (222). La solution co-construite par Cindy et Jean-Luc consiste à garder, à la fois, le critère du tri (catégorie double : bon/mauvais) et celui de transformation (catégorie double : petit/gros) puisque ces deux critères semblent acceptés par la plupart des élèves de la classe. Pour résoudre la difficulté pointée par Maëva, ils disjoignent la question du tri et celle de la transformation. Cela permet de construire une explication qui conserve les deux critères faisant l'objet d'un accord au sein de la classe.

4/ La nécessité d'une transformation est de nouveau présentée en 301, selon un raisonnement proche de celui mis en évidence dans l'épisode 14 :

300	Enseignant	Il peut pas tout dissoudre // bon / pourquoi il faut que ce soit tout dissous
301	Cindy	Parce que si c'est pas assez dissous ça peut pas aller dans la paroi

5/ Dans le passage 304-312, l'utilisation de la nécessité d'une distribution par circuit sanguin assure un contrôle sur les solutions proposées par les autres groupes. Pour que l'explication du groupe 5 soit recevable, elle a dû être mise en cohérence avec la nécessité d'une distribution par circulation, obligeant à la réduction de la discordance des discours en présence, de la même façon que nous l'avons noté pour l'épisode 16. Mais, dans ce cas, la négociation provoque une extension de la « nécessité d'une distribution par circuit clos ». En effet, la rencontre entre cette nécessité et l'idée d'une mise en mouvement du sang (en 310) permet à Samuel de construire la notion de « circuit fermé » qui précise encore davantage la « nécessité d'une distribution par circuit sanguin ».

• L'épisode 18

L'épisode 18 permet de faire une comparaison entre les différentes productions à propos du rôle particulier du foie dans l'explication proposée par le groupe 5.

• L'épisode 19

320	Maëva :	Il y a une autre différence / le passage des nutriments dans le sang / là ça passe par une paroi alors qu'avant ça passait directement
321	Enseignant :	Alors / oui / chose indique qu'il y a une différence au niveau du passage dans le sang / puisque là il se faisait par l'intermédiaire d'un tuyau qui emmenait vers le cœur les nutriments alors qu'ici le passage se fait //
322	Maëva :	À travers une paroi
323	Enseignant :	À travers une paroi / c'est ça Samuel
324	Samuel :	Oui / c'est ça

325	Enseignant :	À travers une paroi // ce qui expliquerait qu'il faille que cela soit / justement / très petit pour que ça puisse passer à travers
-----	--------------	--

Maëva et Samuel reprennent, en la thématissant, l'idée d'une absorption des nutriments à travers une paroi pour passer du tube digestif dans le sang : « *le passage des nutriments dans le sang, là ça passe par une paroi alors qu'avant, ça passait directement* » (Maëva en 320, épisode 23). Cela montre une première construction de la nécessité d'une absorption intestinale comme conséquence d'une nécessité de distribution par un circuit clos. En effet, compte tenu des nécessités construites précédemment, il ne peut en être autrement du point de vue du passage des nutriments dans le sang.

- Conclusion

Nous avons montré que l'explication proposée par le groupe 5 est discutée au regard des éléments construits précédemment. Ainsi, les élèves convoquent certaines nécessités construites, comme celle d'une distribution par un circuit sanguin (ce qui implique qu'ils l'ont identifiée comme telle) comme critère d'évaluation d'un autre modèle. On voit comment certaines nécessités changent de statut au cours du débat, jouant alors le rôle de contrainte sur les solutions possibles. Cette contamination des contraintes, d'autant plus qu'elles s'articulent avec d'autres, provoque une fermeture du problème qui va permettre de le résoudre. Le filet de contraintes et de nécessités devient tellement serré que le nombre de possible est de plus en plus réduit. À ce titre, l'explication produite par le groupe 6 est intéressante à étudier.

2.2.2.6. Présentation de l'affiche du groupe 6 et épisodes 20 à 22

- La présentation du sixième groupe

Le tableau 4-14 présente la structure de l'explication produite par Maxime en 326 au nom du sixième groupe d'élèves.

Tableau 4-14. La présentation du groupe 6

326 – Maxime	<p>Les aliments sont digérés dans l'estomac // ils sont digérés <u>une première fois</u> dans l'estomac avec des sucs gastriques / ils sont digérés plutôt grossièrement, en fait // <u>ensuite ils passent</u> dans l'intestin grêle <u>où là</u> / ils sont transformés à l'état liquide // <u>et là</u> le sang est en contact / la paroi de l'intestin grêle est très fine <u>donc</u> le sang / il y a tout un réseau de vaisseaux sanguins autour de l'intestin grêle ce qui permet que les nutriments qui sont dans l'aliment liquide <u>puissent passer</u> dans le sang // <u>donc</u> le sang bleu c'est celui qui est pauvre en nutriments / <u>une fois qu'il est passé</u> tout autour de l'intestin grêle il est riche en nutriments // <u>il repart</u> dans le cœur / le cœur <u>l'envoie dans le muscle et là</u> / le muscle est lui aussi recouvert de capillaires et de vaisseaux sanguins // <u>donc là</u> les nutriments <u>passent</u> dans le muscle // <u>et donc</u> le sang <u>ressort</u> du muscle pauvre / retourne dans le cœur <u>et repart</u> dans l'intestin grêle <u>et ainsi de suite</u> // tous les aliments pauvres en nutriments <u>repartent</u> dans le gros intestin // en fait / <u>une fois</u> que les aliments ont été en contact avec le sang / ils sont pauvres en nutriments <u>parce que</u> le sang a récupéré tous les nutriments // bah / <u>donc</u> ils sont rejetés / et tout ça c'est digéré par les sucs gastriques qui sont faits par le ...</p>	
Structure de l'explication produite	<p style="text-align: center;">Sur le plan épistémique</p> <pre> graph TD A[Les aliments] --> B[Estomac (aliments sont digérés)] B --> C[Intestin grêle (aliments sont transformés à l'état liquide)] C --> D[Les nutriments qui sortent dans les aliments] D --> E[Sang riche en nutriments] E --> F[Coeur] F --> G[Muscle] G --> H[Sang pauvre] H --> I[Aliments pauvres en nutriments] I --> J[Gros intestin] J --> K[Rejets] </pre>	<p style="text-align: center;">Indicateurs langagiers</p> <p>Une première fois Ensuite, ils passent Où là Et là Donc Donc Puissent passer Donc Une fois qu'il est passé Il repart Et là L'envoie dans le muscle et là... Donc là Les nutriments passent Et donc Le sang ressort, retourne... et repart Et ainsi de suite Une fois Parce que Donc</p>

Le format de l'énoncé produit par Maxime est différent de ceux produits par les autres groupes. Alors que nous avons, jusque-là, des explications ayant une structure linéaire, Maxime introduit une dimension cyclique à son explication.

Le texte produit, très cohérent au niveau langagier, est très dense au niveau des savoirs mobilisés (y compris en mobilisation de savoirs scolaires construits précédemment). On retrouve dans ce texte les différentes nécessités discutées précédemment au cours du débat. Par rapport au texte présent sur l'affiche³⁹, on constate que l'explication orale de Maxime réorganise, dans un autre genre,

³⁹ Texte présent sur l'affiche du groupe 6 : « Lorsqu'on mange, les aliments sont digérés dans l'estomac. Ils passent ensuite dans l'intestin grêle. Ses parois sont très fines et recouvertes de vaisseaux sanguins. Les nutriments peuvent ainsi passer dans le sang. Le sang, riche en nutriments part alors vers le cœur qui l'envoie vers le muscle. Le sang riche se vide de ses nutriments dans le muscle, ce qui lui apporte de l'énergie. Le sang pauvre repart vers le cœur puis l'intestin grêle et ainsi de suite ».

l'explication produite initialement, notamment par l'introduction de nombreux connecteurs. Cela laisse à penser que Maxime utilise ce qui s'est dit dans le débat pour faire évoluer le texte proposé.

De plus, il introduit des considérations sur la structure des organes et les met en lien avec leur fonction : « *la paroi de l'intestin grêle est très fine donc le sang / il y a tout un réseau de vaisseaux sanguins autour de l'intestin grêle ce qui permet que les nutriments qui sont dans l'aliment liquide puissent passer dans le sang* ». C'est le cas par exemple des détails sur la structure de l'intestin grêle (paroi très fine avec un réseau de vaisseaux sanguins) qui sont mis en relation de façon explicite (« *ce qui permet* ») avec sa fonction d'absorption (idée déjà présente dans le texte de l'affiche, mais de façon peut être moins explicite).

• L'épisode 20

327	Maëva	Est-ce que tout passe à travers a paroi
328	Maxime :	Bah non / en fait c'est que les nutriments qui sont dans les aliments.
329	Maëva :	Et ce qui ne passe pas c'est rejeté.
330	Maxime :	C'est rejeté oui // et après le sang pauvre / il est filtré par les reins / il est purifié
331	Enseignant :	D'autres questions
332	Maxime :	On n'a pas représenté non plus les poumons qui apportent de l'oxygène au sang
333	Enseignant :	Est-ce que vous avez des questions là / sur ce modèle
324	Léa :	Est-ce que tous les nutriments sont utilisés
335	Enseignant :	Est-ce que tous les nutriments sont utilisés
336	Maxime :	Bah / en fait / le sang ne puise que ce qu'il a besoin / mais en fait je pense qu'il prend que ce qu'il a besoin mais il doit en prendre plus / et c'est trié par les / ça doit venir pareil que // je sais pas comment dire / je pense qu'il doit sûrement en prendre en surplus / mais il est réutilisé on dit qu'il est pauvre mais il peut en rester dedans / parce que le muscle a que ce qu'il avait besoin / ça repart dans l'intestin grêle et le sang en reprend en surplus / mais ça fait ainsi de suite / il doit toujours en avoir des nutriments dans le sang
337	Enseignant :	Bon écarts différences
338	Maëva :	C'est toujours le tri par rapport à la taille
339	Enseignant :	Donc là le tri / c'est par rapport à la taille
340	Maxime :	Non non
341	Enseignant :	À ce qui est liquide / à ce qui a réussi à être mis liquide / de ce qui ne l'a pas été c'est ça
342	Maxime :	Moi je pense que tout a été mis liquide
343	Enseignant :	Tout est mis liquide
344	Maxime :	Tout a était mis liquid
345	Enseignant :	Donc tout peut passer
346	Maxime :	Bah nan / que les nutriments contenus dans ce liquide /le liquide passe pas // c'est que les nutriments contenus dans les aliments / tout est rendu liquide mais c'est que les nutriments qui passent

347	Enseignant :	Oui Benoît
-----	--------------	------------

La principale discussion menée à l'épisode 20 concerne la question des liens entre transformation des aliments et leur tri / absorption. Elle permet une comparaison de l'explication que vient de proposer Maxime par rapport aux explications des groupes précédents (comment se fait le tri, où a-t-il lieu, comment se fait le passage dans le sang) et il reprend, en partie, les arguments analysés lors de l'épisode 14 (structure argumentative présentée à la figure 4-9). Les interventions de Maxime permettent la mise en cohérence entre une idée : les aliments sont entièrement transformés (thèse de Maxime en 342 : « *moi je pense que tout a été mis liquide* ») et une critique formulée précédemment dans le débat : si tout est transformés, tout peut alors passer dans le sang et la question des rejets se pose (objection de Léa formulée en 240).

La mise en cohérence consiste en la présentation d'un mécanisme de tri spécifique : « *Bah / nan que les nutriments contenus dans ce liquide / le liquide passe pas // c'est que les nutriments contenus dans les aliments // tout est rendu liquide mais c'est que les nutriments qui passent* » (Maxime, 346). Les aliments solides sont transformés en un liquide qui contient des nutriments et seuls les nutriments sont absorbés. Cette mise en cohérence permet à Maxime de ne pas avoir à rejeter l'idée d'une transformation complète (comme seuls les nutriments passent dans le sang et pas le liquide qui les contient, ce dernier sera le déchet de la digestion). Comme nous n'avons pas repéré, dans le texte, d'opposition nette à cette thèse, nous en resterons à ce niveau d'interprétation.

- Les derniers épisodes 21 et 22

L'épisode 21 est une rapide comparaison entre la structure du cœur dans la présentation de Maxime et dans celle des groupes précédents.

L'épisode reprend la formulation de la boucle informative concernant la structure de la paroi de l'intestin grêle en lien avec sa fonction.

- Conclusion

La présentation de cette dernière explication permet une récapitulation des différentes nécessités construites au cours du débat dans un format différent des explications précédentes. En effet, celui-ci est en rupture avec les formats linéaires des présentations précédentes puisqu'il présente une explication cyclique

qui ouvre la voie à la construction d'une modélisation compartimentale (Orange, 1994a, 1997). De plus, il y a introduction d'éléments de savoir pour justifier les mécanismes présentés selon une argumentation structure / fonction, caractéristique de la biologie fonctionnelle. Enfin, la discussion permet de faire évoluer l'explication proposée par rapport à une critique émise précédemment dans le débat. Celle-ci porte sur les liens entre la nécessité de transformation et celle de tri pour travailler l'idée d'absorption intestinale. Absorption rendue nécessaire par la construction préalable de la nécessité d'une distribution par circuit clos.

2.2.3. Conclusion : l'« espace contraintes et nécessités » en jeu dans le débat de 3^e

Afin d'avoir une vue d'ensemble des savoirs au travail dans ce débat ; de déterminer les problèmes construits par les élèves et surtout comment, d'après les processus langagiers analysés, les différents registres de la problématisation ont été mis en jeu, nous allons présenter l'« espace contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat.

2.2.3.1. La contrainte d'un approvisionnement des organes en nutriments provenant des aliments par le sang

Il s'agit du premier élément mobilisé par les élèves dans le débat et qui nous semble avoir statut de contrainte théorique.

La contrainte d'un approvisionnement de tous les organes en nutriments à partir des aliments est explicitée dans une critique formulée par Maxime à propos de la première affiche. Cette critique pointe un écart entre l'explication proposée et cette donnée⁴⁰ qui correspond sans doute à la mobilisation de savoirs scolaires. Aussitôt l'écart est réduit par Angélique, qui présente l'explication pour le groupe 1, ce qui permet, en retour, d'enrichir cette contrainte d'un élément qui ne sera également plus discuté dans ce débat : c'est le sang qui assure cet approvisionnement. On retrouve ici des connaissances travaillées en classe de SVT à l'école primaire et en 5^e.

⁴⁰ Dans le sens de donnée du problème, reconnue comme telle par les élèves. En ce sens, elle conserve une dimension construite indiscutable.

Cette contrainte, mobilisée seule dans un premier temps pour évaluer la pertinence des productions présentées, sera ensuite mobilisée dans l'établissement de plusieurs nécessités :

- celle d'une transformation des aliments à l'épisode 9 ;
- celle concernant la distribution par un circuit sanguin. Il convient de noter que la nécessité d'une distribution, en tant que telle (comme Orange l'a décrite, 2002), semble incorporée à cette contrainte théorique, cela fait partie des savoirs partagés par les élèves de cette classe (savoirs partagés que l'on peut lier aux savoirs construits en 5^e). Seules les modalités de la distribution seront discutées et donneront lieu à la construction de contraintes et de nécessités.

2.2.3.2. La nécessité d'un tri

Pour ce qui concerne la nécessité d'un tri, il est intéressant de suivre ses différentes occurrences au cours du débat scientifique. L'idée de tri, pour reprendre les distinctions proposées par Orange (2000) apparaît dès la première intervention : « *l'organisme il trie ce qui est bon et ce qui est pas bon* » (Angélique, 1). Nous sommes typiquement dans une proposition qui relève de l'assertorique : il trie, mais il pourrait tout aussi bien ne pas trier.

Dans l'épisode 2 et 5, nous avons relevé un premier niveau de formulation de la nécessité de tri sur la base de raisonnements appuyés sur des fondements généraux. Nous sommes dans l'expression d'une nécessité construite, mais l'articulation entre le registre empirique et le registre du modèle est discutable. Nous pensons que les éléments du registre empirique restent, pour l'instant, implicites et seront explicités plus tard, notamment par l'intervention de Léa en 240 : « *y a forcément quelque chose de rejeté* » qui critique le modèle de Maxime qui propose que tous les aliments sont transformés et passent dans le sang.

Cette nécessité, construite dans un premier temps sur la base d'un raisonnement, est extraite de la discussion et vient contrôler les autres solutions envisagées, et cela dès la présentation de la deuxième affiche. Par ce changement de rôle (nécessité établie sur la base d'un raisonnement -> contrôle des solutions envisagées dans d'autres cas) dans le processus de problématisation, il nous semble que la nécessité de tri accède à un plus haut niveau de généralité. La « montée en généralité » concerne également la façon dont la nécessité de tri va se lier à celle de transformation des aliments, en particulier dans l'épisode 14, et à la nécessité d'une distribution par un circuit sanguin pour permettre un premier niveau de construction

de la nécessité d'une absorption intestinale lors de la présentation de l'affiche du groupe 5.

2.2.3.3. La nécessité d'une transformation des aliments

L'idée d'une transformation des aliments est présente à la fin de la première présentation. Un premier niveau de formulation de la nécessité de transformation est présente à l'épisode 9 puis reprise à l'épisode 12. Dans ces deux cas, les élèves mènent un raisonnement qui reste, pour une bonne part, l'implicite (notamment les éléments empiriques mobilisés dans les raisonnements). Nous avons proposé deux interprétations possibles pour comprendre le raisonnement des élèves : les deux raisonnements mobilisent la contrainte théorique d'un approvisionnement des organes en nutriments par le sang.

Dans le premier raisonnement, c'est la différence entre l'état du sang (liquide homogène) et la solidité des aliments qui conduit à la nécessité d'une transformation : comme il n'y a pas de morceaux dans le sang et que le sang transporte les nutriments qui proviennent des aliments, il y a nécessairement une transformation des aliments en nutriments.

Le second raisonnement part du fait que les nutriments doivent être mis en petits morceaux pour pouvoir passer dans le sang. Ce raisonnement mobilise une pensée mécaniste qui s'instancie dans le registre du modèle : pour pouvoir entrer dans les tuyaux sanguins très fins, les aliments solides doivent nécessairement être transformés.

Dans le premier cas, la nécessité reste isolée, les aliments sont nécessairement transformés, alors que dans le second cas, la nécessité porte la possibilité de se lier à d'autres puisqu'elle concerne le passage des nutriments dans le sang, question qui articule la nécessité de tri et les modalités de la distribution. Le couplage entre la nécessité de tri et la nécessité de transformation a lieu lors de la présentation du quatrième groupe et de l'épisode 14. Cela conduit à mettre au travail la nécessité d'une absorption intestinale. Le second couplage entre nécessité de transformation et nécessité de distribution par circuit sanguin a lieu lors de la présentation de l'affiche du groupe 5. Il permet de remettre en question la nécessité d'une absorption des nutriments à travers une paroi perméable. Ce sont ces couplages qui nous conduisent à dire que la nécessité de transformation gagne en généralité au cours du débat, par ses liens avec d'autres nécessités, ce qui permet, au final, de traiter le problème biologique de l'absorption intestinale.

Par rapport à notre analyse didactique *a priori*, il nous semble que la nécessité de transformation est uniquement abordée du point de vue d'un problème d'absorption/distribution. Les questions d'assimilation ne sont pas abordées.

2.2.3.4. La nécessité d'une distribution par un circuit sanguin

Nous avons déjà précisé que la nécessité d'une distribution est incorporée à la contrainte théorique d'un approvisionnement des organes en nutriments provenant des aliments par le sang. C'est à l'occasion de l'épisode 11 que l'« impossibilité d'une distribution par irrigation » / « nécessité d'un retour sanguin » sont construites en lien avec cette contrainte théorique et d'éléments du registre empirique : le fait que le muscle n'éclate pas. Pour que le raisonnement développé par les élèves à l'épisode 11 soit sensé, il faut qu'ils envisagent que les organes ne consomment pas le sang (dans ce cas, il serait consommé par les organes, l'objection : « *il y aura trop de sang // il va éclater* » tomberait). Du point de vue du cadre épistémique, cela implique que les élèves raisonnent dans un cadre où la nutrition n'est pas considérée comme une accumulation de sang (vu comme une totalité) à l'intérieur de l'organisme. Les aliments ne sont pas transformés en sang consommé par les organes. Il y a une permanence du sang, considéré comme un mélange contenant des éléments (les nutriments) transportés et utilisés par les organes. En ce sens, les élèves de cette classe ont déjà abandonné un savoir quotidien (reposant sur le « *schème de la totalité* », Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009, p. 109-110) qui peut faire obstacle à la construction d'un savoir problématisé sur le thème de la nutrition. Cela permet aux élèves d'argumenter en faveur d'une distribution par irrigation qui se présente comme le seul modèle possible respectant la nécessité d'un retour sanguin. C'est ce mouvement argumentatif, analysée lors de la présentation de l'épisode 11, qui confère un statut de nécessité à la distribution par un circuit sanguin.

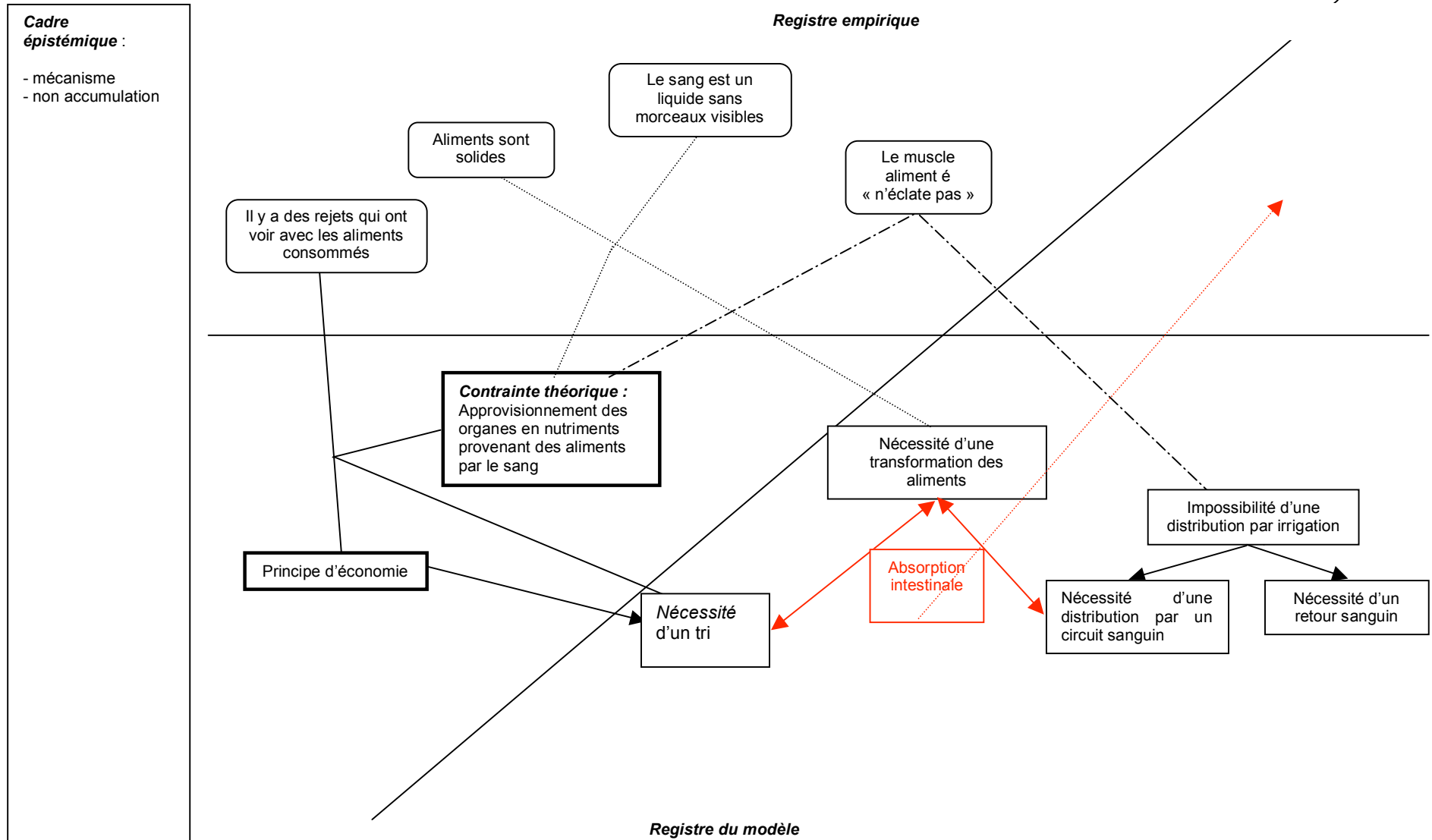
Comme nous l'avons montré par la suite (épisode 13, présentation de l'affiche du groupe 5 : 304-312) et comme pour la nécessité de tri, la nécessité d'une distribution par un circuit sanguin change de rôle : les élèves⁴¹ convoquent la nécessité construite (ce qui implique qu'ils l'ont identifiée comme telle) comme critère d'évaluation d'un autre modèle. Cela constitue, selon nous, une montée en généralité de cette nécessité.

⁴¹ 5 élèves participent à la construction de la nécessité et 4 autres élèves participent à la propagation de cette nécessité.

2.2.3.5. L'« espace contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat sur la nutrition en classe de 3^e

La figure 4-10 présente l'« espace contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat dans une classe de 3^e, espace construit à partir des différents raisonnements que nous venons de rappeler.

Figure 4-10. L'« espace contraintes et nécessités » en jeu dans le débat en classe de 3^e



3. Discussion

3.1. La structure des explications produites

Pour l'instant, nous avons utilisé le terme de « mise en histoire », emprunté à Orange & Orange (1995) - repris par Orange-Ravachol (2003, 2007), pour caractériser les explications produites par la plupart des groupes d'élèves. Cependant, nous souhaitons discuter plus précisément du genre dont relèvent ces mises en histoire (à la lumière de la façon dont nous avons envisagé les liens entre secondarisation et mise en récit au chapitre 2, section 2.3.) et de leur fonction par rapport au processus de problématisation. Nous le ferons après avoir rappelé les structures des explications produites au terme des présentations des groupes.

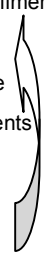
3.1.1. Caractérisation des énoncés produits

Du point de vue du format des explications produites par les différents groupes, nous avons identifié trois types d'énoncés différents. Ils peuvent être regroupés en deux catégories principales :

- la première qui relève d'une logique linéaire ;
- la seconde qui relève d'une logique de fonctionnement cyclique.

Le tableau 4-15 présente les trois types de format des explications proposées par les élèves, identifiés à partir des analyses épistémologico-langagières menées sur les moments de présentation des groupe reconstruits dans la dernière ligne des tableaux 4-5, 4-6, 4-7, 4-10, 4-13 et 4-14.

Tableau 4-15. Les types d'énoncés produits par les élèves au terme des explications⁴²

Type 1	Type 2	Type 3	
<p style="text-align: center;">Nutriments</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">muscle</p> <p>La flèche représente une suite de lieux traversés par les aliments.</p>	<p style="text-align: center;">Nutriments ou aliment</p> <p style="text-align: center;"> <i>tri</i> ↓ ↘ rejet corps </p> <p>Les aliments ou nutriments passent d'un lieu à l'autre. Dans ces lieux, les aliments (ou les nutriments) subissent une action (ils sont mâchés, dissous...). Puis, il y a un tri qui se présente comme une alternative (ce qui bon <i>versus</i> ce qui est mauvais) La flèche verticale indique un volet de l'alternative, la seconde flèche indique l'autre volet de l'alternative.</p>	<p style="text-align: center;">Les aliments</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Estomac (aliments sont digérés)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Intestin grêle (aliments sont transformés à l'état liquide)</p> <p style="text-align: center;">↗</p> <p style="text-align: center;">Les nutriments qui sont dans les aliments</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Sang riche en nutriments</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Coeur</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Muscle</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Sang pauvre</p> <p style="text-align: center;">↖</p> <p style="text-align: center;">Aliments pauvres en nutriments</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Gros intestin</p> <p style="text-align: center;">Rejets</p> 	<p>La transformation des aliments conduit à séparer parmi eux des nutriments liquides, de parties non liquides.</p> <p>Les nutriments solubles vont être pris en charge par le sang au niveau de l'intestin grêle. Le système circulatoire permet de conduire le sang jusqu'au muscle qu'il va approvisionner en nutriments. Le sang pauvre en nutriments va se recharger en nutriments au niveau de l'intestin grêle.</p> <p>Les parties non liquides de l'aliment vont poursuivre leur trajet dans le tube digestif pour être rejetées.</p>
Groupe 2	Groupe 1, Groupe 3, Groupe 4, Groupe 5	Groupe 6	

⁴² Pour constituer ce tableau, nous nous sommes appuyés sur les dernières lignes des tableaux 4-5, 4-6, 4-7, 4-10, 4-13 et 4-14.

L'énoncé de type 1 est le plus simple : les élèves répondent directement à la question posée par l'enseignant. Ils indiquent comment les aliments fournissent de l'énergie et de la matière au muscle. Les énoncés présentent une série de lieux où les aliments (ou nutriments) passent et peuvent subir une action (tri dans l'intestin par exemple).

Les énoncés de type 2 montrent une évolution significative par rapport à ceux de type 1. Ils sont plus complexes, puisque les élèves ne se contentent pas de répondre à la question, mais font appel aux rejets, non présents dans le dispositif proposé par l'enseignant. Mais, comme dans le premier cas, ce type d'énoncé s'inscrit dans une logique linéaire. En effet, dans un lieu traversé par les aliments, il va y avoir un tri qui se présente comme une alternative, chacune de deux alternatives étant parallèlement résolue selon une logique linéaire (ça va là, puis là...). Il faut noter que la possibilité d'arriver au tri est préparée par les étapes antérieures. En effet, les aliments, en plus de passer d'un lieu à un autre comme dans l'énoncés de type 1, subissent, dans ces lieux, une action (on digère, ils sont dissous...). Ce type d'énoncé est le plus fréquent parmi ceux que rencontrés dans cette étude (4 cas sur 6 en 3^e).

L'énoncé de type 3 correspond à l'explication de Maxime. Ce type d'énoncé, proche du savoir à faire construire aux élèves, relève d'une logique différente de celle des énoncés 1 et 2. La mise en place, par les élèves du groupe 6, d'un système circulatoire clos permet de distinguer le sang (le contenu), des vaisseaux sanguins (le contenant) et de faire jouer au sang le rôle d'un transporteur de nutriments. Cette double évolution complexifie la question de la distribution, en rompant avec une logique linéaire, c'est-à-dire de la façon dont les flux de nutriments et de déchets sont assurés (même si du point de vue des flux, les explications 2 et 3 sont équivalentes). Ce type d'énoncé, rare, est proposé à la fin du débat scientifique par un des deux élèves ayant le plus participé au débat. De plus, nous avons montré comment cet énoncé a intégré différents éléments construits au cours du débat.

Compte tenu des résultats de cette première analyse des énoncés produits par les élèves, il semble intéressant de la poursuivre pour caractériser les productions des élèves. En effet, cette étude montre que les interventions des élèves ne sont pas ponctuelles et aléatoires, mais s'organisent selon des structures d'intervention récurrentes qui permettent aux élèves d'avoir le moyen d'agir, de penser, de dire et de donner du sens à la situation dans laquelle ils se trouvent. En transposant, dans le champ de l'apprentissage, les travaux de Bakhtine qui indique que « *pour parler nous nous servons toujours des genres du discours, autrement dit, tous nos énoncés disposent d'une forme type et relativement stable, de structuration d'un tout* » (1984, p. 284), nous pouvons dire que ces productions langagières s'organisent en genres qui sont, selon Jaubert (2000, p. 245), non seulement « *des moyens d'agir* » mais aussi « *des moyens de connaître* ». Il est donc nécessaire, dans un premier temps, de caractériser le genre d'énoncé mobilisé par les élèves de cette classe.

3.1.2. Les genres d'énoncés produits par les élèves confrontés à l'explication de la nutrition chez l'homme

Il ne s'agit pas de faire entrer les énoncés des élèves dans une typologie rigide et réifiée car, comme le rappelle Nonnon, les pratiques langagières apparaissent « *comme le domaine de l'hétérogène* » et font « *éclater les typologies rigides* » (2000, p. 40), mais de caractériser, *a minima*, le genre de mise en texte des énoncés produits par les élèves. Nous ferons cette analyse en étudiant les premières formulations des explications proposées par les élèves lors de la phase de présentation des affiches. Le tableau 4-16 reprend ces différentes formulations.

Tableau 4-16. Premières formulations des explications des six groupes d'élèves

Groupe 1 Texte 1 Énoncé de type 2	1- Angélique	Nous en fait, on pense que quand on mange quelque chose / ça va dans l'œsophage jusque dans l'estomac ET PUIS que ENSUITE / ben le ... l'organisme il trie ce qui est bon et ce qui est pas bon // ce qui est bon passé dans le sang / dans tous les organes quoi // ce qui n'est pas bon continue dans les intestins pour ENSUITE être rejeté
Groupe 2 Texte 2 Énoncé de type 1	34- Clément :	Alors les nutriments / ils passent par l'œsophage / l'estomac ET ils passent par le sang dans l'intestin ET ils nourrissent les muscles
Groupe 3 Texte 3 Énoncé de type 2	100- Florian :	Les aliments / ils passent dans l'œsophage ET dans l'estomac (montre le trajet) / il y a un tri / ce qui n'est pas bon / va dans l'intestin grêle ET // ET APRES est rejeté
Groupe 4 Texte 4 Énoncé de type 2	187- Maëva :	En fait / les aliments / on les avale par la bouche // Ils sont mâchés
	191- Maëva :	C'est mâché par les dents ET ça va dans l'estomac là c'est trié
	193- Maëva :	C'est broyé / ça rend les aliments liquides // moi je pense que ce qui est gros c'est // ce qui est gros et ce qui est mauvais c'est rejeté // ET PUIS ce qui est petit et ce qui est meilleur / en fait ça passe par le cœur ET ça se transforme en sang ET ça va dans le muscle // ET ça fait un cycle dans le muscle
Groupe 5 Texte 5 Énoncé de type 2	282- Cindy :	Nous on a dit que les aliments / ils passent D'ABORD dans l'œsophage pour arriver dans l'estomac ET c'est / là ils sont dissous par les sucs gastriques en fait // ET PUIS APRES à la sortie de l'estomac ils sont triés / les nutriments / enfin ce qui est bon pour les muscles et tout ça, ça passé dans le foie ET le reste ça passé dans l'intestin // ET ce qui va dans le foie en fait / c'est / ça passé par la paroi jusque dans les vaisseaux sanguins ET PUIS c'est conduit jusqu' au muscle

Groupe 6 Texte 6 Énoncé de type 3	326 - Maxime :	Les aliments sont digérés dans l'estomac // ils sont digérés UNE PREMIERE FOIS dans l'estomac avec des sucs gastriques / ils sont digérés plutôt grossièrement, en fait // ENSUITE ils passent dans l'intestin grêle où là / ils sont transformés à l'état liquide // et là le sang est en contact / la paroi de l'intestin grêle est très fine donc le sang / il y a tout un réseau de vaisseaux sanguins autour de l'intestin grêle ce qui permet que les nutriments qui sont dans l'aliment liquide puissent passer dans le sang // donc le sang bleu c'est celui qui est pauvre en nutriments / UNE FOIS QU'IL EST PASSE tout autour de l'intestin grêle il est riche en nutriments // il repart dans le cœur / le cœur l' envoie dans le muscle et là / le muscle est lui aussi recouvert de capillaires et de vaisseaux sanguins // donc là les nutriments passent dans le muscle // et donc le sang ressort du muscle pauvre / retourne dans le cœur et repart dans l'intestin grêle ET AINSI DE SUITE // tous les aliments pauvres en nutriments repartent dans le gros intestin // en fait / UNE FOIS QUE les aliments ont été en contact avec le sang / ils sont pauvres en nutriments parce que le sang a récupéré tous les nutriments // bah / donc ils sont rejetés / et tout ça c'est digéré par les sucs gastriques qui sont faits par le ...
---	-------------------	--

Une première analyse de la structure des textes présentés dans le tableau 4-16 permet de reconstituer un continuum entre ces textes : texte 2, texte 3, texte 1, texte 4, texte 5, texte 6. Nous le présentons dans le tableau 4-17.

Tableau 4-17. Analyse du continuum des textes produits

Texte 2	Coordination des phrases par « ET »	Introduction d'une succession linéaire accentuée par la récurrence de « passer » qui prend en charge la temporalité et la spatialité
Texte 3	Coordination des phrases par « ET », « ET APRES » et introduction d'une action (tri) avec finalité (séparer bon/mauvais)	Même succession linéaire renforcée par les verbes de mouvement qui prennent en charge la temporalité et la spatialité. Première amorce de mise en relation : lieux, agents, actions, finalités
Texte 1 Texte 4, Texte 5	Fort marquage de la temporalité « ET PUIS... ET... ET APRES... ENSUITE » ET marque une accumulation et la temporalité	Mise en intrigue d'un parcours: prise en charge de la temporalité et de la spatialité. Les élèves tissent des relations entre différents éléments (buts, agents, circonstances). Cela amorce une mise en sens fondée explicitement sur la temporalité (puis, ensuite, après...).
Texte 6	Mêmes indicateurs que pour les textes précédents avec des boucles informatives sur la paroi de l'intestin et la présence d'un réseau de vaisseaux sanguins ou à propos des muscles pour rendre compte de la « transformation » de « l'agent » sang...	Prise en compte de certaines contraintes énonciatives afin de rendre disponible et partagée une information dont on se sert pour mettre en relation ou expliquer. Ce texte commence à s'inscrire dans l'ordre de l'explication

Même si les productions des élèves répondent à la demande de formulation d'une explication, les énoncés produits par les élèves des groupes 1 à 5 ne peuvent être considérés comme des explications scientifiques, dans le sens où l'explication scientifique correspondrait à « un ensemble d'énoncés dont l'un décrit l'état de chose à expliquer (*l'explicandum*), tandis que les autres, les énoncés explicatifs, constituent "*l'explication*" au sens le plus étroit du terme (*l'explicans de l'explicandum*) » (Popper, 1998, p. 297-298). En effet, dans les énoncés produits par les élèves, *l'explicandum* et *l'explicans*, ou pour le dire comme Orange (2002), les éléments du registre empirique et ceux du registre du modèle ne sont pas encore articulés de manière fonctionnelle pour fonder des contraintes et des nécessités : ils arrivent en bloc, de

façon syncrétique. Seul le texte produit par les élèves du groupe 6 commence à s'inscrire dans l'ordre de l'explication.

Nos analyses montrent que tous ces textes sont structurés par des marqueurs spatio-temporels, ce qui nous a conduit à parler de mise en histoire : même le texte 6, dans lequel sont introduits des connecteurs qui permettent d'explicitier certains liens de causalité, est encore structuré par des marqueurs spatio-temporels.

Dans les premiers énoncés, l'utilisation quasi exclusive de ces marqueurs qui gèrent simultanément le temps et l'espace nous permet de définir une première caractéristique de ces énoncés. Ils relèvent tous du chronotrope du trajet. Nous empruntons le concept de chronotrope à Bakhtine⁴³ car il permet de rendre compte de la façon dont les indices spatiaux et temporels forment, dans les énoncés des élèves, un tout intelligible et concret. Ainsi les aliments passent successivement dans une série de lieux où ils peuvent subir (ou non) une action. L'utilisation des affiches, qui présentent des personnages debout avec une entrée des aliments par la bouche (située en haut) se déplaçant dans un tube dont la sortie est plus basse que la bouche, renforce certainement l'inscription des énoncés des élèves dans ce chronotrope.

Peut-on, pour autant, qualifier ces énoncés de récit ? Cela dépend de la définition du récit que nous retiendrons. Commençons par considérer la définition qu'en donne le sociolinguiste Labov qui s'intéresse, dans *Le parler ordinaire*, à la langue vernaculaire des noirs américains. Pour Labov, le récit serait une « *méthode de récapitulation de l'expérience passée consistant à faire correspondre à une suite d'évènements (supposés) réels une suite identique de propositions verbales* » (1978, p. 295). Labov parle de récit minimal pour caractériser « *toute suite de deux propositions temporellement ordonnées, si bien que l'inversion de cet ordre entraîne une modification de l'enchaînement des faits reconstitués au plan de l'interprétation sémantique* » (1978, p. 296). La structure formelle des textes 1 à 5 répond bien à cette définition et ces textes pourraient constituer des récits minimaux au sens de Labov.

Mais si, en plus de la structure formelle de l'énoncé, nous nous intéressons au processus de mise en récit, tel que nous l'avons présenté dans le chapitre 2, section 2.3., notre conclusion est autre. En effet, Ricœur précise que le récit n'est pas une simple juxtaposition d'évènements qui se succèdent dans le temps, mais que « *la mise en intrigue est l'opération qui tire d'une simple succession une configuration* » (1983, p. 127). Dans la mesure où, dans le récit, le lien causal prime sur les successions chronologiques⁴⁴, les productions des élèves,

⁴³ « Nous appellerons chronotrope, ce qui se traduit, littéralement, par "temps-espace" la corrélation essentielle des rapports spatio-temporels, telle qu'elle a été assimilée par la littérature. [...] Ce qui compte pour nous, c'est qu'il exprime l'indissolubilité de l'espace et du temps » (Bakhtine, 1978, p. 237).

⁴⁴ « Dans la mesure, en effet, où dans l'agencement des faits, le lien causal (l'un à cause de l'autre) prévaut sur la pure succession (l'un après l'autre), un universel émerge qui est, comme nous l'avons interprété, l'agencement lui-même érigé en type » (Ricœur, 1983, p. 134).

organisées selon le chronotrope du trajet, ne relèvent pas d'un processus de mise en intrigue, processus au cœur de la production des récits.

Ainsi, comme nous l'avons précisé dans le tableau 4-17, nous pensons que les textes 2 et 3 pourraient correspondre à un genre premier par rapport au récit : celui de la chronique (Norris *et al.*, 2005). En effet, la principale différence entre chronique et récit concerne l'absence de marqueurs logiques et de causalité entre les événements, même si, comme le rappelle Barthes (1985, p. 212)⁴⁵, le temporel peut se pénétrer de logique. Ces textes organisent le temps et l'espace par la construction d'un rapport spatio-temporel entre les différents événements. Comme cette chronique s'inscrit dans le chronotrope du trajet⁴⁶, les chroniques produites par les élèves organisent le trajet des aliments dans l'organisme.

Les textes 1, 4 et 5 pourraient également relever du genre de la chronique, mais ils construisent une mise en relation plus complexe avec des liens logiques implicites. Enfin, le texte 6 présente des liens de causalité plus explicites qui correspondent à l'insertion de boucles informatives, ce qui nous conduit à penser que ce texte relèverait plutôt du récit.

Il faut cependant rester très prudent par rapport à ces catégorisations, car les agents des explications des élèves n'ont pas d'intention, contrairement aux actants d'un récit, comme en témoigne :

- l'emploi de nombreux verbes d'état (le sang est, la paroi est, il est, est passé, il est riche, le sang ressort pauvre) ;
- les phrases passives (sont digérés, sont transformés, est recouvert) ;
- les présentatifs (il y a, c'est celui).

Il convient de suivre la dynamique du processus de problématisation avant de comprendre les transformations subies par le format des explications des élèves.

⁴⁵ « Dans le récit (et c'en est peut être la marque), il n'y a pas de succession pure : le temporel se pénètre immédiatement de logique, le consécutif est en même temps le conséquent : ce qui vient après a l'air produit par ce qui était avant » (Barthes, 1985, p. 212).

⁴⁶ Ce qui la distingue de la chronique d'un personnage par exemple.

3.2. La dynamique de construction de l'explication

3.2.1. L'exigence de précision sur les solutions possibles

Dans la construction des solutions possibles, de nombreux échanges entre élèves concernent une exigence de précision. Il s'agit d'abord d'une précision lexicale qui permet d'ancrer l'explication produite dans l'univers scientifique. Il s'agit ensuite d'une amélioration de la précision de l'énonciation par la diminution du nombre de pronoms utilisés (correspondant à des « objets flous ») au profit de sujets lexicaux (correspondant à des « objets précisés »), ce qui s'effectue par de nombreuses référenciations. Ce sont les interventions de l'enseignant qui jouent un rôle essentiel dans ce processus et ses demandes de précision sont déterminantes. En effet, pour qu'une explication possible soit intéressante, il faut qu'elle puisse être discutée, critiquée, confrontée à d'autres possibles, confrontée au réel. C'est envisageable si l'explication proposée est suffisamment précise. Ce travail langagier permet, en outre, de prendre de la distance par rapport à la connaissance commune et sensible, préalable à l'accès au savoir scientifique.

Cependant, nous nous demandons dans quelle mesure ce type d'intervention ne vient pas renforcer les fausses représentations de l'activité scientifique chez certains élèves. En effet, Jaubert et Rebière (2000, p.192) ont montré que certaines postures « rigides » d'élèves constituent un obstacle à l'entrée dans un processus de problématisation. La multiplication des interventions de l'enseignant dans le sens d'une hyper-précision lexicale risque, peut-être, de venir renforcer cette conception (« le professeur, il est content quand on utilise plein de mots compliqués ») et surtout de casser la dynamique du débat. Cela nécessite, sans doute, que l'enseignant, comme le propose Weisser, explicite les raisons de ce besoin de précision pour confier, à terme, « *cette exigence de précision lexicale ... à la classe* » (2003, p.58).

3.2.2. La mise en cohérence langagière et épistémique

Notre étude montre qu'une solution possible est recevable par les autres élèves de la classe à condition qu'elle soit mise en cohérence par rapport à différents éléments (cadre explicatif, nécessité établie préalablement lors du débat). Compte tenu de l'analyse menée, nous pouvons dire que la mise en cohérence s'effectue sur le plan épistémologico-langagier. En effet, la

mise en cohérence épistémique se réalise à travers les opérations langagières qui permettent une mise en cohérence du discours produit. Nous pensons que cette double mise en cohérence s'effectue de façon synchrone, l'une se réalisant à travers l'autre, ce qui atteste de l'étroite imbrication du travail langagier et du travail des savoirs dans le processus de problématisation. Nous pouvons inscrire nos résultats dans le sens des travaux de Jaubert et Rebière qui montrent que « *la construction des savoirs est en relation avec la construction de stratégies langagières sur lesquelles repose la cohérence des discours scientifiques* » (2000, p.173). Cependant il conviendrait d'étendre notre étude sur les productions des élèves en aval du débat scientifique en classe pour étayer nos interprétations. C'est l'objet d'une recherche dans laquelle nous sommes engagé.

Il nous reste à montrer en quoi cette mise en cohérence sur le plan épistémique et langagier nous renseigne sur le processus de problématisation.

3.2.2.1. Mise en cohérence et cadre épistémique du débat de classe

En 12-13 et 191-193⁴⁷, le texte en construction est mis en cohérence par rapport à un élément du cadre épistémique (le mécanisme) qui s'instancie à travers la nécessité d'une tuyauterie continue faisant référence à une nécessité de continuité spatio-temporelle. C'est bien cela qui apparaît nécessaire aux élèves et qui constitue un élément important du cadre épistémique.

3.2.2.2. Mise en cohérence par rapport à des raisons construites dans le débat et conceptualisation

Nous avons montré que l'explication du groupe 2 doit être mise en cohérence avec la nécessité de tri (33-45) établie lors des interventions 30-31. De la même façon, l'explication du groupe 5 est mise en cohérence par rapport à la nécessité d'une distribution par circuit clos (305-312) établie en montrant l'impossibilité d'une distribution par des tuyaux sanguins dès la comparaison entre les affiches des groupes 2 et 3.

Ces deux mises en cohérence s'effectuent par rapport à des raisons préalablement construites dans le débat. Cela nous amène à dire que ces raisons (tri et distribution par circuit clos) ont été stabilisées, c'est-à-dire qu'elles ont acquis un degré de conceptualisation qui permet aux élèves de les considérer, effectivement, comme des contraintes fortes sur les

⁴⁷ La schématisation est déployée dans l'espace et le temps pour prendre en compte les différents processus selon un ordre chronologique qui se traduit par un balisage spatial et temporel très marqué : « et ça va » (191), « là, c'est trié » (191), « et puis ce qui est » (193) « et » répété plusieurs fois.

solutions possibles (une schématisation sera acceptable *si et seulement si* elle respecte la contrainte de tri et la contrainte d'une distribution par circuit clos). Puisque la nécessité a été intégrée au mode de raisonnement de l'élève, nous pensons que l'élève a pris conscience de cette nécessité.

La double mise en cohérence par rapport à ces deux contraintes se traduit par l'intégration de celles-ci dans la schématisation d'un élève (suite à une question ou spontanément). C'est ce « mouvement intégratif » qui traduit le changement de statut des contraintes par rapport à la problématisation : les élèves qui participent à ces échanges ont effectivement pris conscience du passage des idées aux raisons. Cette interprétation nous semble d'autant plus valide que la régulation des conflits, dans ce type de débat, se réalise sur le mode cognitif (ce dont l'enseignant est garant). Ainsi, lorsque un élève A fait évoluer sa schématisation suite à l'objection d'un élève B, ce n'est pas sous la pression affective de B mais bien parce que A considère l'objection de B comme valide sur le plan cognitif.

Allons un peu plus loin dans l'interprétation du changement de statut d'un énoncé. Une idée, comme celle de la distribution par circuit clos, peut être proposée à la discussion et questionnée, ce qui permet d'établir une raison. Le « mouvement intégratif » extrait la raison du questionnement : elle est désormais « hors question », il n'y a plus de doute possible à propos de cette raison. C'est ce que nous entendons par « la raison est devenue un énoncé stable » à partir duquel une nouvelle problématisation peut se développer.

Il convient de souligner que nos analyses établissent un lien fort entre l'orchestration de l'hétéroglossie et le développement de la problématisation. Cela se traduit, dans ce débat, par l'extraction, par les élèves, de certaines nécessités pour en faire des conditions qui contrôlent les autres solutions envisagées, ce qui constitue un processus de généralisation.

L'analyse épistémologico-langagière mise en œuvre apporte des informations qui nous permettent de distinguer, parmi les raisons établies lors du débat, celles qui sont stabilisées de celles qui ne le sont pas encore. Dans le corpus analysé, deux nécessités semblent avoir été stabilisées (car elles ont acquis un caractère contraignant fondé sur les nécessités identifiées dans le débat) : la nécessité de tri et celle d'une distribution par un circuit sanguin fermé.

Nous pensons que la possibilité pour une nécessité de devenir une condition qui contrôle les autres solutions envisagées témoigne, en plus d'un processus de généralisation, de la construction de la dimension opératoire d'un concept. En effet, compte tenu de notre position épistémologique, les concepts scientifiques n'ont de sens que dans la relation qu'ils entretiennent avec les problèmes (et par conséquent les raisons qui les déterminent). Ainsi, il nous semble que nous sommes en présence de traces d'une conceptualisation.

Notons qu'un deuxième élément permet le développement de la problématisation. Cela concerne le double mouvement de décontextualisation \Leftrightarrow recontextualisation que nous avons

pointé dans l'analyse de l'épisode 11 où, à plusieurs reprises, le changement de contexte permet à la problématisation de reprendre.

3.2.2.3. Réduction de la discordance à propos d'énoncés en cours de construction et non encore stabilisés dans le débat

Le processus de stabilisation d'une raison ne concerne pas toutes celles identifiées sur le plan épistémique. Ainsi le lien entre la nécessité de tri et la nécessité d'une transformation est en cours de construction comme en témoignent les deux mouvements discursifs opposés de collusion et de disjonction de ces nécessités. L'explication proposée par Maëva concernant les critères du tri et l'argumentation de preuve tentée⁴⁸ n'ont pas emporté l'adhésion de la classe puisque Cindy, lors de l'explication suivante, réussit à réintégrer dans sa proposition les deux types de critères (« bon/mauvais » et « petit/gros ») en procédant à la disjonction chronologique du tri et de la transformation. Cela atteste de la résistance du lieu commun du bon et du mauvais.

On assiste également à l'émergence de ce que l'on pourrait appeler des « nécessités en germe » dans le débat. C'est le cas, par exemple, de la nécessité d'une perméabilité des vaisseaux sanguins qui émerge de la tentative de séparation contenant/contenu opérée par Jean-Luc en 296.

⁴⁸ 224- Maëva : « Mais, je pense que c'est plus logique que ce soit petit et gros parce que c'est plus facile à trier ».

3.2.3. Conclusion

Les différents processus que nous venons d'analyser ont permis la construction de contraintes et de nécessités qui viennent transformer le format des explications produites par les élèves. Nous avons montré à la section 3.1. que la première version du texte scientifique produit par les élèves est une chronique qui relève de ce que l'on peut considérer comme un genre premier (premier par rapport au récit par exemple). Dans ce premier texte de savoir, il n'y a pas de mise à distance du texte produit et la représentation scientifique est très proche de la représentation quotidienne. L'engagement dans la problématisation s'accompagne de la secondarisation du texte de savoir produit par les élèves ce qui « *permet/donne naissance à une nouvelle re-figuration, un déplacement de la re-figuration antérieure (proposée dans le genre premier) qui correspond à un déplacement de la représentation intériorisée des propriétés de l'activité collective pouvant faire/ayant fait l'objet d'une entente sociale et in fine des savoirs* » (Jaubert, 2000, p. 254-255). Nous pensons que cette secondarisation est permise par l'existence, dans la classe, d'autres énoncés. Cette diversité de schémas disponibles, en même temps qu'elle crée de la dissonance, appelle et rend possible un travail de mise à distance. L'activité de problématisation se traduit, au niveau langagier, par des essais de mise en intrigue et/ou d'élaboration d'argumentations. Cela donne naissance à des textes de savoirs qui incorporent progressivement le résultat du processus de problématisation.

Nous allons dans un dernier temps regarder plus attentivement les argumentations produites par les élèves et les raisonnements qu'ils mettent en œuvre afin de mettre en évidence quelques obstacles à la construction de savoirs problématisés.

3.3. Les raisonnements et argumentations des élèves

3.3.1. Le fonctionnement des épisodes fortement argumentatifs : rôle dans la problématisation

L'analyse des deux épisodes argumentatifs (épisode 11-13 et épisode 17) montre la richesse du travail argumentatif des élèves. Il ne s'agit pas d'une argumentation formelle, sur des positions figées, mais bien d'une argumentation heuristique qui permet le développement des problèmes scientifiques. Ainsi deux problèmes scientifiques au cœur du concept de nutrition, celui de la distribution et celui du tri, sont travaillés par les élèves. Pour chacun de ces problèmes, deux thèses alternatives sont soumises à une discussion critique.

Dans le cas du problème de distribution, cette opposition entre la thèse d'une distribution par irrigation (thèse 1) et celle d'une distribution par circulation (thèse 2) conduit à établir l'impossibilité de la première au terme d'un raisonnement par l'inacceptable (car inconcevable compte tenu de certaines contraintes empiriques) :

143	Enseignant :	Et pourquoi il ne peut pas rester dans le muscle
144	Maxime :	Bah si il s'accumule
145	Benoît :	À force il y aura trop de sang // il va éclater //

Ce raisonnement établit une nouvelle nécessité, celle d'un retour sanguin. Comme les élèves qui participent à cet épisode argumentatif proposent dans le même temps (figure 4-8) une (thèse 2) compatible avec cette nécessité, cela provoque un mouvement argumentatif en faveur de la distribution par circulation. Cet épisode amène les élèves du groupe 3 à ajuster leur modèle de distribution par irrigation afin de le rendre compatible avec cette nécessité : ils proposent un aller-retour du sang dans les tuyaux sanguins (thèse 3). Nous pensons, comme nous l'avons vu dans la section 3.2.2.2., que cette extraction d'une nécessité pour en faire un moyen de contrôle des autres solutions envisagées participe d'un mouvement de généralisation. Cela nous permet de mettre en évidence l'intrication du travail du langage et du travail des savoirs dans les argumentations des élèves.

Dans le cas du problème de la transformation des aliments, l'opposition entre les deux thèses concernant le critère de tri provient de la construction d'une question par Maëva, elle-même issue de la collusion entre la question du tri et celle de la transformation (épisode 17) :

215 – Maëva :	En fait on sait pas trop / on sait pas si c'est plutôt par rapport à la grosseur / ou par rapport //
216 – Enseignant :	Donc si le tri se fait par rapport à la taille ou //
217 – Maëva :	Par rapport à ce qui est bon et mauvais

Cette question présente une véritable alternative entre deux thèses, ce qui organise le champ des possibles. C'est particulièrement efficace lorsque cela pointe une possibilité nouvelle dans le débat, comme le fait Maëva (215, 217 : un tri en fonction de la taille et plus seulement en fonction de ce qui est utile/inutile, bon /mauvais). Cependant les arguments et les objections avancés restent implicites, ce qui ne conduit pas à donner l'avantage à une thèse ou à une autre. On retrouve un fonctionnement analogue dans la deuxième partie de l'épisode 17 lorsque Maëva (259) envisage le liquide issu de la transformation des aliments, non plus comme un ensemble homogène, mais comme un mélange d'éléments divers, certains encore gros (qui ne passeraient pas dans le sang et qui seraient rejetés) et d'autres petits qui pourraient être absorbés.

Du point de vue des positions argumentatives définies par Plantin dans le modèle du trilogue argumentatif (chapitre 2, section 4.2.), il convient de remarquer que dans le premier exemple, c'est l'enseignant qui assure le rôle du tiers (121 : « *alors . est-ce que cela peut circuler avec vos deux tuyaux /c'est ça la question / un / Maëva* » ; 125 : « *ça fait pas un cycle / mais pourquoi il faudrait que ça fasse un cycle* ») et les élèves qui prennent en charge la position d'opposant (la thèse de la distribution par irrigation présentée par le groupe 3 n'est pas défendue).

Dans le second exemple, Maëva occupe successivement plusieurs positions argumentatives :

- celle de tiers, puisque c'est elle qui prend en charge « *la mise en question* » (en 215-217) (Platin, 2005, p. 63) ;
- celle d'opposant à la thèse du critère « *bon / mauvais* » dans l'intervention 224.

Dans cet épisode, même si deux thèses s'opposent, les arguments mis en avant par les élèves ne sont pratiquement pas explicités. La thèse du tri selon le critère bon/mauvais n'est pas défendue et les arguments en faveur de la thèse de Maëva d'un tri en fonction du critère gros/petit, restent en grande partie implicites : « *je pense que c'est plus logique* » (Maëva, 224).

Nous venons de montrer que les argumentations de élèves sont plus ou moins implicites et que, généralement, ce sont les interventions de l'enseignant qui permettent une explicitation des raisonnements (ce que nous avons également noté dans les phases de présentation des explications par les différents groupes). Nous allons maintenant nous intéresser à ces raisonnements pour essayer d'avancer dans la compréhension de la façon dont les élèves s'engagent dans un processus de problématisation.

3.3.2. Implicite / explicite dans les arguments et les raisonnements des élèves

Le tableau 4-18 récapitule les différents raisonnements identifiés au cours de nos analyses : ces raisonnements permettent la construction de contraintes et de nécessités ou participent aux épisodes fortement argumentatifs analysés (dans ce cas ils participent au processus d'objection / argumentation par rapport à une thèse).

Tableau 4-18. Les raisonnements menés par les élèves

Épisode	Extrait du corpus	Analyse du raisonnement des élèves
Épisode 2 et 5	<p><u>Épisode 2 :</u></p> <p>30 - Enseignant : « <i>Pourquoi il faut que ce soit trié</i> »</p> <p>31 - Benoît : « <i>Parce que certaines choses ne peuvent pas être utilisées pour le corps</i> »</p> <p><u>Épisode 5 :</u></p> <p>53 -Kévin : « <i>Bah / tout ce qui est mauvais / il faut pas qu'il aille dans le sang</i> »</p> <p>54 - Enseignant : « <i>Pourquoi</i> »</p> <p>55 - Kévin : « <i>Pour pas attraper des maladies</i> »</p>	<p>Le tri est justifié sur la base de fondements généraux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - principe d'économie - principe de « pas utile / toxique »
Épisode 9	<p>95 - Enseignant : « <i>Ils envoient des acides / le foie et le pancréas envoient des acides pour dissoudre les aliments c'est ça // c'est-à-dire pour les rendre //</i> »</p> <p>96 - Kévin : « <i>Ben / plus petit</i> »</p> <p>97 - Enseignant : « <i>Pour les rendre plus petit</i> »</p> <p>98 - Kévin : « <i>Pour // pour qu'ils puissent aller dans le sang</i> »</p>	<p>La transformation des aliments est justifiée par un raisonnement qui s'appuie sur des éléments empiriques qui ne sont pas explicités :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le sang est un liquide sans morceaux qui transporte les nutriments aux organes, comme les aliments sont solides, il faut nécessairement qu'ils soient transformés pour que les nutriments puissent être dans le sang (et distribués aux organes). - les aliments sont gros et comme ce qui doit aller aux organes doit passer dans le sang par des petits vaisseaux, ils doivent être nécessairement transformés.
Épisode 11	<p>131 – Maëva : « <i>Bah ça veut dire que si ça marche comme ça / ça veut dire que le sang il arrive au muscle mais il repart pas / donc il y a trop de sang dans le muscle / si on regarde leur schéma //</i> »</p> <p>...</p> <p>143 - Enseignant : « <i>et pourquoi il ne peut pas rester dans le muscle</i> »</p> <p>144 - Maxime : « <i>Bah si il s'accumule</i> »</p> <p>145 – Benoît : « <i>A force il y aura trop de sang //</i></p>	<p>1/ Si A alors B (un peu explicite).</p> <p>2/ Si B alors C (seulement marquée par le trop dans un premier temps : l'aspect inacceptable de l'accumulation du sang est précisé un plus loin, en 143-145 à la demande de l'enseignant).</p> <p>3/ Or non C (implicite, c'est un fait admis)</p> <p>4/ Donc A ne convient pas (n'est pas explicitée).</p>

	<i>il va éclater // »</i>	<p>A : « distribution par irrigation »</p> <p>B : « le sang s'accumule dans le muscle »</p> <p>C : « le muscle va éclater »</p>
Épisode 13	<p>161 - Benoît : « <i>Qu'est-ce qui propulse le sang dans le sens inverse »</i></p> <p>162 - Enseignant : « <i>Alors / qu'est-ce qui propulse le sang »</i></p> <p>163 - Collectif : « <i>Le cœur »</i></p> <p>164 - Enseignant : « <i>Dans le va et vient c'est aussi le cœur j'imagine / Kevin »</i></p> <p>165 - Kevin : « <i>Il aspire le sang »</i></p> <p>166 - Maxime : « <i>Bah nan / il peut pas le cœur aspirer le sang »</i></p> <p>167 - Enseignant : « <i>Oui / Maxime »</i></p> <p>168 - Maxime : « <i>Le cœur il sert qu'une pompe / enfin que // il propulse le sang il peut pas l'aspirer / donc c'est un circuit // enfin je sais pas / c'est pas facile à expliquer mais on a appris ça il y a un moment »</i></p> <p>169 - Maëva : « <i>c'est toujours projeté dans le même sens »</i></p>	<p>Ce raisonnement mobilise une analogie présentée par Maxime en 168 : « <i>le cœur il sert qu'une pompe</i> », ce qui permet d'inférer (mais cela reste implicite) que la distribution par irrigation avec un va et vient du sang dans les mêmes tuyaux ne convient pas. En effet, une pompe met toujours en mouvement le liquide qu'il propulse dans le même sens (cette inférence est explicitée par Maëva en 169, à partir de l'opposition faite par Maxime entre « <i>il propulse</i> » et « <i>il peut pas aspirer</i> ». Une dernière inférence (qui est contenue dans l'analogie avec la pompe) n'est pas explicitée dans le raisonnement, c'est le fait que pour assurer le fonctionnement de la pompe, il faut deux tuyaux, un par lequel le liquide entre dans la pompe et un autre par lequel il est projeté. Cette dernière inférence donne pourtant du poids au modèle de distribution par circuit sanguin.</p>
Épisode 14 et présentation de la production du groupe 5	<p>184 - Enseignant : « <i>Pourquoi il faut que cela soit mis en tout petit »</i></p> <p>185 - Florian : « <i>Sinon / ça passerait pas dans le sang »</i></p> <p>300 - Enseignant : « <i>Il peut pas tout dissoudre // bon / pourquoi il faut que ce soit tout dissous »</i></p> <p>301 - Cindy : « <i>Parce que si c'est pas assez dissous ça peut pas aller dans la paroi »</i></p>	<p>Ce raisonnement peut être représenté de la façon suivante :</p> <p>1/ Si non-A alors B (explicité en 185 : « <i>sinon</i> » et en « <i>parce que si</i> » en 301)</p> <p>2/ Or B est impossible (implicite mais tenu pour vrai compte tenu de la contrainte théorique mobilisée)</p> <p>3/ Donc non-A ne convient pas (entièrement implicite)</p> <p>4/ Cela rend la transformation nécessaire (implicite)</p> <p>A : transformation des aliments</p> <p>B : passage dans le sang</p>
Épisode 17 ₁	224 - Maëva : « <i>Mais je pense que c'est plus logique que ce soit petit et gros parce que c'est plus facile à trier »</i>	<p>L'argumentation en faveur du choix d'un critère du tri selon la distinction petit/gros repose sur un fondement général du type « <i>pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple</i> » qui est inclus dans le « <i>c'est plus logique</i> »</p>
Épisode 17 ₂	En 240, Léa indique que la proposition de Maxime selon lequel tous les aliments sont transformés en solide n'est pas acceptable car	<p>Le raisonnement peut être représenté de la façon suivante :</p>

	« y a forcément quelque chose de rejeté »	1/ Si A alors B (implicite). 2/ Si B alors C (implicite). 3/ Or non C (explicite en appui sur un fait admis). 4/ Donc A ne convient pas (implicite). A : « tout est digéré et tout passe à l'état liquide » B : « tout passe dans le sang » C : « il n'y a plus rien à rejeter »
--	---	---

Plusieurs remarques méritent d'être faites à propos de ces analyses.

1/ Nous avons identifié une diversité de raisonnements mobilisés par les élèves. À partir de ces exemples, nous pouvons proposer une première catégorisation des raisonnements des élèves qui participent du processus de problématisation. Il nous semble que c'est un point important puisque nous pensons que c'est à travers les raisonnements que nous pouvons trouver les traces de construction des nécessités. Le tableau 4-19 présente une première catégorisation des raisonnements produits par les élèves.

Tableau 4-19. Catégorisation des raisonnements produits par les élèves dans le processus de problématisation (débat nutrition – 3^e)

<i>Type de raisonnement</i>	<i>Occurrence dans ce débat</i>	<i>Épisodes concernés</i>
Raisonnement par analogie	1	13
Raisonnement reposant sur des éléments admis explicités	1	17 ₂
Raisonnements reposant sur des fondements généraux (schèmes argumentatifs ou topoï)	3	2, 5, 17 ₁
Raisonnement par l'inacceptable	4	11, 14, présentation G5, 17 ₂
Raisonnement reposant sur des éléments admis non explicités	4	9, 11, 14, présentation G5

Par rapport à ces résultats, nous souhaitons souligner l'importance des raisonnements par l'inacceptable dans ce débat en classe de 3^e⁴⁹ et ceux qui reposent sur des fondements

⁴⁹ Orange, Lhoste et Orange-Ravachol (2009) ont montré que c'est également le cas dans un débat sur la respiration humaine mené dans une classe de CE2-CM1.

généraux, fondements dont il conviendra de comprendre le rôle dans le processus de problématisation (point 3/).

2/ Ces raisonnements ont la caractéristique d'être marqués par une part importante d'implicite. Ce qui reste implicite dans ces raisonnements est de nature diverse.

Ce sont les inférences ou certaines inférences qui peuvent rester implicites. Ainsi dans ce qu'Orange, Lhoste et Orange-Ravachol qualifient de « *raisonnement par l'absurde ou, plus exactement, un raisonnement par l'inacceptable (car faux, ou inconcevable)* » (2009, p. 105), raisonnement qui peut jouer comme objection à une thèse (épisode 11 et 17) ou au contraire comme un argument en faveur d'une thèse (on montre l'inacceptabilité du contraire de cette thèse, ce qui la renforce en retour : épisode 14 et présentation du groupe 5), certains pas du raisonnement ne sont pas explicités. Dans les quatre raisonnements de ce type, étudiés ici, le fait que le point de départ du raisonnement ne convient pas (le A dans la représentation proposée) n'est jamais explicité, comme si cela allait de soi. C'est d'autant plus marquant quand le raisonnement par l'inacceptable est en lien avec la construction d'une nécessité qui joue le rôle de double négatif de ce qui est impossible (comme dans le temps 4/ de l'épisode 14 et la présentation du groupe 5)⁵⁰.

Ce sont parfois des éléments admis qui restent dans l'implicite comme s'ils étaient partagés par l'ensemble de la communauté discursive scolaire, qu'il s'agisse de faits (épisode 9 : le sang est un liquide homogène, certains aliments sont solides) ou de contraintes théoriques (épisode 14 et présentation du groupe 5 : contrainte d'un approvisionnement des organes en nutriments provenant des aliments par le sang).

Ce sont parfois les fondements, ou ce qu'Orange, Lhoste et Orange-Ravachol nomment « *des schèmes argumentatifs, des topoï* » (2009, p. 108), qui peuvent rester implicites, comme dans le cas des épisodes 2, 5 (principe d'économie et/ou de toxicité de ce qui n'est pas utile) et 17 (« pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple »).

Enfin, une partie du recours à l'analogie peut également ne pas être explicité par les élèves comme dans le cas de l'épisode 13 (« une pompe ça a une entrée et une sortie »).

3/ Dans le débat étudié, la mobilisation, par les élèves, de fondements généraux (principe d'économie et/ou de toxicité de ce qui n'est pas utile) dans les épisodes 2 et 5 permet de construire une nécessité, la nécessité de tri qui a une pertinence épistémologique. Nous nous trouvons dans une situation où la connaissance commune permet le développement d'une

⁵⁰ Nous avons identifié ce processus dans d'autres études de cas : la construction d'un impossible porte en lui, en double négatif, une nécessité. Dans ce cas, le passage non-A ne convient pas parce qu'il a des conséquences inacceptables, ce qui rend A nécessaire est un processus de construction de nécessité régulièrement rencontré dans l'analyse des processus de problématisation (où le renversement impossible -> nécessaire n'est jamais explicité).

problématisation pertinente du point de vue épistémologique⁵¹. Il sera intéressant de voir fonctionner les connaissances communes des élèves sur les autres thèmes abordés pour voir si, dans d'autres cas, elles ne peuvent justement pas venir empêcher le développement du processus de problématisation ou engager les élèves sur des problématisations non pertinentes du point de vue épistémologique.

⁵¹ Dans les études de cas sur le mouvement du bras étudiées par Orange (2001) et par nous-même (Beorchia & Lhoste, 2008), nous nous situons dans une situation équivalente où les élèves peuvent construire des savoirs scientifiques problématisés directement à partir de la connaissance commune. En effet, dans ce cas, le registre empirique est peu élaboré et issu d'observations quotidiennes : la bras plie, le bras tient...

3.3.3. Conclusion et problèmes didactiques

Nous venons de montrer sur le cas étudié, et comme l'avait déjà noté Orange (2003) et Orange, Lhoste et Orange-Ravachol (2009, p.107-108), que les arguments des élèves et les raisonnements qu'ils produisent sont caractérisés par une part importante d'implicite, ce qui peut s'expliquer par la modalité orale de ces phases de travail : en effet, les échanges qui ont lieu entre les élèves s'inscrivent dans une communauté discursive scolaire scientifique qui a une histoire et dont les membres partagent un certain nombre de savoirs qui n'ont plus à être explicités. De plus, ces différents éléments, qui vont de soi, procurent une dynamique favorable au développement de la problématisation. Mais, en même temps, cette part d'implicite peut être source de malentendus et d'incompréhensions qui pourraient conduire, dans certains cas, à un dialogue de sourd. Cependant, des interventions du professeur qui viseraient à faire systématiquement expliciter l'implicite pourraient être considérées (du point de vue interne à la communauté discursive) comme du pinaillage.

En fait, du point de vue du processus de problématisation et plus particulièrement par rapport :

- au mouvement de désyncrétisation entre éléments qui relèvent du registre empirique et éléments qui relèvent du registre des modèles ;
- à la mise en tension entre ces éléments dans la construction d'une apodicticité ;

il est important qu'un minimum d'explicitation aient lieu « *pour que des arguments soient suffisamment décontextualisés pour être utilisables sur d'autres cas, donc pour que se construisent véritablement des raisons* (Orange, 2005) » (Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009, p. 108).

Cette tension entre dynamique du débat scientifique et explicitation des mises en relation entre éléments du registre empirique et du registre du modèle, pour construire des contraintes et des nécessités ayant un caractère un peu général, constitue un véritable problème pour les enseignants ou formateurs qui conduisent des débats scientifiques en classe.

Une deuxième source de problème pour l'enseignant ou le formateur qui pilote l'activité de problématisation des élèves renvoie à la fonction et au rôle joué par les savoirs quotidiens dans le processus de problématisation, surtout quand c'est la face outil des obstacles qui s'exprime, comme sur le thème que nous venons d'étudier. Comment permettre aux élèves de faire un travail sur les obstacles (Astolfi & Peterfalvi, 1997) que peuvent constituer les éléments de la pensée commune lorsqu'ils permettent l'accès à des raisons qui sont pertinentes du point de vue épistémologique ?

4. Conclusion

Au terme de cette première étude de cas, nous avons mis en évidence que le domaine de la nutrition peut renvoyer à deux problèmes différents : des problèmes d'absorption/distribution ou/et à des problèmes d'assimilation. La problématisation scolaire étudiée dans une classe de 3^e relève du premier type de problème, ce qui permet notamment la construction d'un premier modèle intégré des fonctions de nutrition où les questions de digestion sont articulées à celles de distribution. En termes de niveau d'élaboration du problème, les élèves en restent à un premier niveau de formulation où les transformations sont envisagées uniquement d'un point de vue mécanique. Il nous semble que pour passer à un niveau supérieur de formulation de ce problème, il faudra changer de problème et s'engager dans un problème d'assimilation. Cela nécessite, comme nous l'avons montré, de mobiliser des élaborations conceptuelles importées d'autres champs disciplinaires : la chimie principalement. D'un point de vue didactique, cela pose la question des conditions de possibilité à réunir pour engager les élèves dans un problème de nature et de niveau de formulation différent. Cela pourrait permettre d'interroger les dispositifs mis en œuvre pour préparer le moment de débat scientifique (quelles questions ?; quelles contraintes de situation ?) et le pilotage de ces situations par l'enseignant.

Du point de vue des analyses épistémologico-langagières menées, elles confirment l'étroite intrication du travail du langagier et du travail des savoirs au cours du processus de problématisation, dont les liens forts entre problématisation et secondarisation des textes produits par les élèves témoignent. Ces analyses, par rapport à celles réalisées classiquement au sein de notre équipe de recherche, nous ont conduit à :

1/ Interroger la dimension contextuelle du processus de problématisation. Cette dimension contextuelle n'est pas sans conséquence sur le processus de problématisation qui relève pour une part importante d'une logique context-dépendant. De ce point de vue, le concept de communauté discursive scolaire scientifique peut nous permettre d'avancer pour comprendre ce qui, au cours du débat, nécessite d'être explicité, d'être argumenté et ce qui n'a pas besoin d'être formulé.

2/ Avoir des informations plus précises sur le niveau de généralité des nécessités construites au cours du débat, ce qui pourrait fournir des indicateurs par rapport au processus de conceptualisation à l'œuvre au cours des débats scientifiques en classe.

3/ Obtenir des premiers résultats sur le processus de mise en texte de la problématisation organisée, dans un premier temps, à partir de la dimension temporelle des processus en jeu. Ainsi, le temps joue un rôle important dans les premières explications produites par les élèves, même si le domaine d'étude relève de la biologie fonctionnaliste. Dans le double mouvement lié de problématisation et de secondarisation, il perd progressivement de sa prééminence et il

est remplacé par d'autres facteurs. La présentation du groupe 6 qui prend la forme d'une explication traduit ce double mouvement qui lie problématisation et secondarisation. Cependant, le texte produit par Maxime, qui relève pour nous d'un genre explicatif (comme nos analyses le montrent), nous amène à nous poser des questions. En effet, même si ce texte est cohérent par rapport aux nécessités construites préalablement dans le débat, il ne les explicite pas, comme si le processus de mise en texte n'arrivait pas à prendre en charge les raisons : c'est ce point précis qui interroge les relations entre problématisation et secondarisation. Dans le cas de la production de Maxime (qui a participé activement au débat et a permis le développement de la problématisation), il y a un écart entre le niveau de formulation des raisons que l'on peut observer quand il est engagé dans la discussion critique et la mise en texte qu'il peut produire quand vient son tour de proposer une explication.

Comme la plupart des explications données par les élèves font intervenir des textes qui ont à voir, dans un continuum, avec la chronique et le récit, elles font intervenir la flèche du temps, dans un domaine de la biologie où la communauté scientifique ne fait pas appel à cette dimension dans les explications retenues. Il sera donc intéressant de suivre la place et la fonction du temps dans les explications produites par les élèves dans le champ de la biologie historique.

4/ Identifier des moments où dans/par le processus de problématisation, des obstacles sont travaillés par les élèves.

Enfin, cette étude a mis en évidence, à la suite de travaux de Christian Orange (2003), que la problématisation sur des problèmes d'absorption/distribution se développe sur des fondements peu assurés, potentiellement porteurs d'obstacles pour d'autres niveaux d'élaboration de ce même problème, ce qui n'est pas sans poser des problèmes didactiques. Nous nous demandons si ce type de situation est spécifique au problème abordé et comment les élèves pourront s'engager dans d'autres problématisations sur la base de savoirs quotidiens. L'étude de cas sur les concepts d'évolution et d'ancêtre hypothétique commun devrait pouvoir nous permettre d'avancer sur cette question.

Chapitre 5. ÉVOLUTION DES ÊTRES VIVANTS ET ANCÊTRE COMMUN HYPOTHÉTIQUE

Chapitre 5. ÉVOLUTION DES ÊTRES VIVANTS ET ANCÊTRE COMMUN HYPOTHÉTIQUE	265
Introduction : spécificité des explications évolutionnistes en biologie, une compréhension narrative	266
I. Évolution et ancêtre commun : une analyse épistémologique	269
I.1. Le concept d'évolution : analyse épistémologique	269
I.2. L'ancêtre hypothétique commun : une analyse épistémologique	282
I.2.1. L'ancêtre commun dans la systématique phylogénétique : apport de Hennig	282
I.3. L'évolution dans les programmes scolaires	288
2. L'évolution en classe de première ES	291
2.1. Le dispositif d'enseignement-apprentissage	291
2.2. Analyse du processus de problématisation	293
2.3. Discussion	326
2.4. Conclusion	336
3. Le concept d'ancêtre commun avec un groupe d'étudiants préparant le concours de professeur des écoles	338
3.1. Intérêt pour la recherche, intérêt didactique	338
3.2. Le dispositif d'enseignement et le corpus de données	339
3.3. Analyse des productions des étudiants	344
3.4. Analyse épistémologico-langagière et discussion des résultats	355
3.5. Conclusion	367
4. Conclusion du chapitre 5	369

Introduction : spécificité des explications évolutionnistes en biologie, une compréhension narrative

Le travail sur la compréhension de l'histoire de la vie sur Terre est un domaine particulier des sciences de la vie qui a une double spécificité :

- spécificité de ce que l'on cherche à expliquer : l'histoire de la succession des êtres vivants sur Terre à partir d'une documentation fossile ;
- spécificité des démarches adoptées pour légitimer ces explications, liée à l'objet d'étude.

Par rapport à ce second point, il convient de souligner que l'histoire des êtres vivants sur Terre ne peut pas être étudiée avec les outils habituels de la biologie, comme l'expérimentation¹. Gould indique que, pour l'évolution, « *les méthodes appropriées relèvent dans ce cas de la narration et non pas de l'expérimentation* » (Gould, 1991/1998, p. 361). À l'instar de la géologie et de la cosmologie, entre autres, l'évolution est une science historique qui doit être étudiée avec les outils de l'histoire. Du point de vue des explications produites, elle met en jeu un type d'explication qui relève toujours d'une compréhension narrative, même si « *l'orthodoxie épistémologique de la première moitié du XX^e siècle [qui] promeut le modèle nomologique de la science* » a marginalisé ce type d'explication (Fagot-Largeault, 2008). C'est d'ailleurs une des nouveautés introduite par Darwin, à travers l'Origine des espèces que « *cette reconnaissance du temps comme agent de l'organisation des formes vivantes* » (Canguilhem, 1981, p. 106), puisque comme le précise Ghiselin « *the historical narrative aspect of evolutionary biology is far more important than as generally been recongnize* » (1997, p. 17).

Ainsi les explications historiques dans les sciences de la vie relèvent de la narration, « *elles impliquent toujours un petit récit qui fait comprendre ce qui est arrivé* » (Huneman, 2001, p. 24). Désormais, ce type d'explication est considéré comme un des styles² de la pensée scientifique³, par un historien des sciences comme Crombie (1994).

¹ À l'exception d'expérimentations en génétique des populations.

² Il s'agit ici d'une définition de style de pensée différente de celle développée à la suite de Fleck.

³ « *Historical derivation demonstrated from causes was introduced into modern natural philosophy and science essentially by Descartes. ... [Through Le Monde and Principia] Descartes established a demonstrative style in the philosophical history of nature. Using the method of hypothetical*

Ce qui explique l'apparition d'un phénomène, c'est la séquence particulière d'évènements survenue auparavant⁴. Ainsi, ce n'est pas, comme le rappelle Gould, « *la combinaison du déterminisme et du hasard* » (1991/1998, p. 57) qui explique cet évènement, mais l'ensemble de conditions nécessaires qui l'ont déterminé si l'on remonte l'histoire. Les explications historiques en biologie font donc appel, ni au déterminisme ni au hasard, mais à un troisième terme : la contingence. Ainsi, « *on peut expliquer un évènement après qu'il s'est produit, mais, étant donné le rôle de la contingence, il est impossible qu'il se répète, même en reprenant le même point de départ* » (*ibid.* p. 363). Dans ce sens, « *les évènements historiques ne violent aucun des principes fondamentaux régissant la matière et leur mouvement, mais leur production relève de la contingence* » (*ibid.*). Plusieurs conséquences à cela :

- il n'y a pas de possibilité de prévision (en dehors des études en génétique des populations), mais seulement la possibilité d'expliquer un évènement après qu'il ait eu lieu ;
- pas de possibilité de vérification par répétition puisque certains facteurs qui concourent à un évènement sont uniques (étant donné la loi probabiliste et l'irréversibilité du temps, une même combinaison de facteurs ne se représentera jamais).

Mais il convient tout de même d'indiquer qu'une explication historique en science de la vie n'est pas exactement de même nature qu'une explication historique en histoire. De Ricqlès (2008) précise ainsi que « *l'évolution étant la seule grande théorie unificatrice de toute la biologie, son exposé et ses justifications scientifiques doivent faire appel à tous les aspects : le récit doit y contribuer, mais il n'y suffit pas* ». Pour Aron, ce qui est explicatif en histoire, « *c'est la reconstruction des calculs de l'acteur [Bismarck dans le cas de la falsification de la dépêche d'Ems⁵], de ses façons de penser, et de la relation entre les décisions et la situation* » (1989, p. 184), ce qui laisse une place importante au libre-arbitre des personnages historiques. Dans le cas de l'explication historique en sciences de la vie, certaines contraintes, comme les contraintes physiques et chimiques, viennent davantage borner l'histoire et constituent des contraintes « *bien plus fortes que celles qui limitent les agissements des acteurs humains* », ce qui conduit Morange à conclure qu'« *une explication de type darwinien n'est cependant pas qu'historique* » (2005, p. 70-71). Ainsi, les êtres vivants sont issus du processus évolutif dans lequel deux facteurs interviennent : « *d'une part, les*

modelling, he based his analysis and demonstrations upon the ontological and methodological principle of uniformity, by which the causation of change in the past could be inferred from observation of it in the present, which could thus in turn be derived from the past'' (Crombie, 1994, p. 1634-1637).

⁴ « *L'explication n'est pas autre chose que le récit de ces antécédents* » (Veyne, 1971, p. 127)

⁵ À l'origine de la guerre de 1870 entre la France et la Prusse.

contraintes qui, à chaque niveau, déterminent les règles du jeu et marquent les limites du possible ; d'autre part, les circonstances qui régissent le cours véritable des évènements » (Jacob, 1981, p. 59). Ainsi, les sciences de l'évolution devraient pouvoir proposer des explications qui permettent de distinguer, comme le précise Ghiselin (1997, p. 243), ce qui relève des lois nomologiques et ce qui relève de la contingence⁶.

L'évolution relève de ce type d'explication et apparaît « *comme un "fait de la pensée" qui signe le succès de la manière dont elle s'y est prise pour conférer le caractère de nécessité aux possibles qu'elle a su inventer à l'épreuve du réel qu'elle visait à maîtriser. Ce fait apparaît ainsi comme une valeur, mais cette valeur réside toute entière dans sa puissance heuristique : foyer de problèmes, horizon de recherche* » (Lecourt, 1992/2002, p. 123).

⁶ "The laws of nature may tell us what is possible, but that only limits the number of acceptable theses. An ideal evolutionary biology would present the entire history of life, in a manner that made it clear what was historical accident and what was nomologically necessary, and of course what laws applied and why, but that ideal is only beginning to be realized" (Ghiselin, 1997, p. 243).

I. Évolution et ancêtre commun : une analyse épistémologique

I.1. Le concept d'évolution : analyse épistémologique

I.1.1. Présentation du concept

Canguilhem indique que la principale nouveauté de l'œuvre de Darwin réside dans « *l'introduction dans la méthode biologique de deux moyens d'investigation réellement inédits : l'enquête et le modèle* » (1968, p. 109). Elle se traduit par la construction du concept de sélection naturelle, à partir :

- du grand nombre d'observations qu'il a pu réaliser lors du voyage sur le Beagle ;
- et sur la base d'une analogie avec la domestication et la sélection telle qu'elle est réalisée par les agriculteurs⁷ (c'est cela le modèle analogique⁸).

La thèse de Darwin repose sur les deux considérations suivantes :

1/ la croissance exponentielle infinie du vivant (la « *super fécondité* ») a la conséquence suivante : si chaque être vivant qui naissait réussissait à se reproduire, alors la Terre ne suffirait pas à accueillir et à nourrir tous ces êtres vivants, il va donc y avoir une « *destruction massive du plus grand nombre* » (Ruffié, 1976, p. 47)⁹ ;

2/ au sein d'une même espèce, la reproduction conduit à ce que les descendants présentent des petites variations entre eux (ils ne sont donc pas identiques au type de l'espèce).

Dans les cinq premiers chapitres de *L'origine des espèces*, la sélection naturelle est présentée comme le produit d'un raisonnement qui s'appuie sur les prémisses constituées par les considérations 1/ et 2/.

⁷ « *Darwin s'attache au problème de la domestication et de la sélection et cherche, dans la nature, un processus équivalent qui permet, par accumulation et accentuation, de fixer les variétés animales et végétales* » (Canguilhem, 1968, p. 106).

⁸ Gayon (1999, p. 854-856) discute du rôle de cette analogie dans le processus de construction du concept de sélection naturelle.

⁹ « *C'est la doctrine de Malthus appliquée aux règnes animal et végétal, agissant avec toute sa puissance, et dont les effets ne sont mitigés ni par un accroissement artificiel de la nourriture, ni par des entraves restrictives apportées à la reproduction* » (Darwin, 1859/1873, p. 68). Pichot (1993, p. 795) indique que cette référence explique, à la fois, l'importance accordée par Darwin à la concurrence pour la nourriture et à la super fécondité des être vivants.

C'est la contradiction entre la superfécondité et les ressources limitées du milieu de vie qui pose le problème. Si l'on ne prend pas en compte d'autres éléments, on construit simplement la nécessité qu'un grand nombre d'individus doit disparaître puisqu'il est impossible que tous survivent. On pourrait envisager une disparition aléatoire de certains individus comme solution possible à cette nécessité. Cependant le raisonnement de Darwin est tout autre car il y a d'autres éléments, de deux ordres différents, qui interviennent dans son raisonnement. Il y a des observations :

- le fait qu'au sein d'une espèce tous les individus ne sont pas identiques mais présentent des variations individuelles¹⁰ ;
- que certaines variations individuelle peuvent conférer un avantage à certains individus¹¹ ;

et la mobilisation d'une analogie avec la sélection artificielle.

L'ensemble de ces considérations qui relèvent, pour une part, du registre empirique et, pour une autre, du cadre épistémique, lui permet de conclure que la destruction d'un grand nombre d'êtres vivants n'est pas aléatoire, qu'elle contribue à éliminer, au sein d'une population et en fonction des caractéristiques du milieu de vie, les individus qui disposent des caractères les moins favorables à la survie dans ce milieu.

Ainsi, compte tenu des éléments à sa disposition Darwin établit le caractère nécessaire de la sélection naturelle. Du point de vue du processus de problématisation, il est intéressant de noter que le statut de nécessité sur les modèles de la sélection naturelle est lié très étroitement au cadre épistémique à l'intérieur duquel Darwin conduit le raisonnement¹². C'est bien dans ce cadre épistémique là qu'il ne peut pas en être autrement. Dans un autre cadre épistémique, on pourrait envisager d'autres traductions possibles de la nécessité d'une disparition d'un grand nombre d'individus.

Pichot (1993, p. 799-804) indique que, pour Darwin, la sélection naturelle est très malléable : il ne dit rien de précis sur la façon dont elle agit et même si la concurrence pour la nourriture est importante, il admet que d'autres processus peuvent également intervenir (prédateurs, sélection sexuelle...).

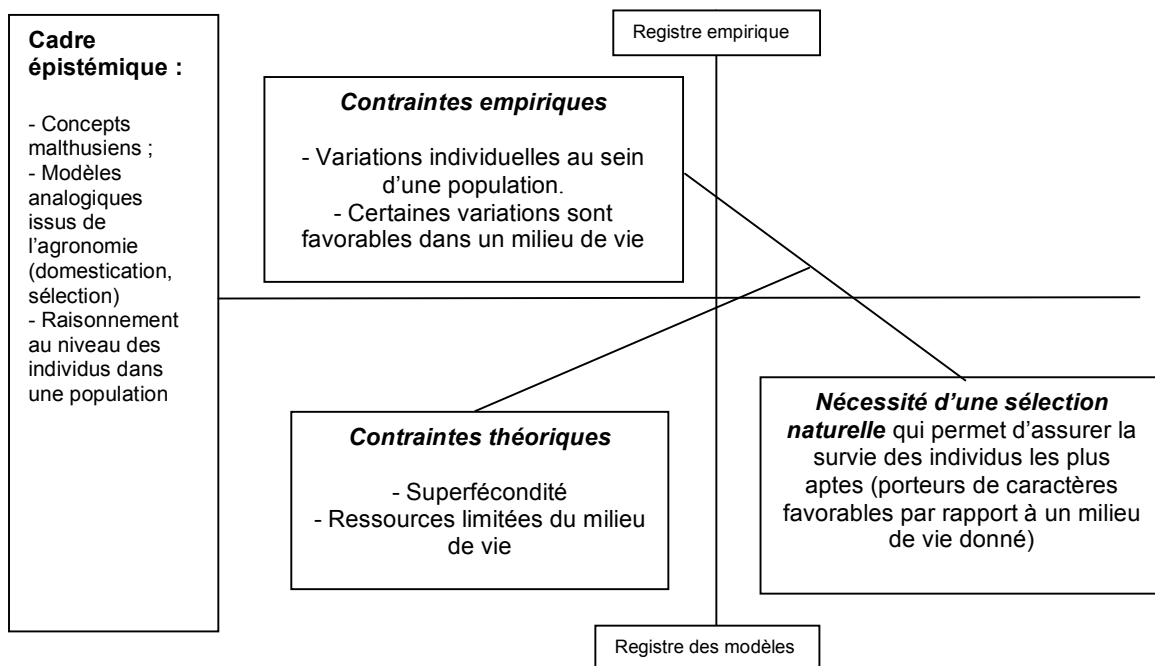
¹⁰ Foucault précise que pour Darwin il y a « une réalité qui est l'individu, une seconde réalité qui est la "variativité" de l'individu, sa capacité à varier » (1994/2001, p. 898).

¹¹ « De légères modifications, favorables à quelque degré que ce soit aux individus d'une espèce, en les adaptant mieux à de nouvelles conditions ambiantes, tendraient à se perpétuer » (Darwin, 1865/1951, p. 88).

¹² « La sélection naturelle n'est pas une force qui s'ajoute à la lutte pour l'existence, elle n'est pas une cause supplémentaire, elle est un concept récapitulatif qui retient, sans la réaliser, à plus forte raison sans la personnifier, le sens du procédé humain utilisé, à titre de mécanisme analogique, dans l'explication du phénomène naturel. La théorie de Darwin enferme, dans le concept de sélection naturelle, la référence à un de ses modèles explicatifs » (Canguilhem, 1968, p. 107-108).

Gayon précise que l'argumentation de Darwin, à propos de la pertinence du concept de sélection naturelle, se déroule en deux temps (2000, p. 206-209). Le premier temps de l'argumentation de Darwin (chapitres 1 à 5 de *L'origine des espèces*), peut être décrit, si nous nous plaçons dans le cadre de la problématisation, par un premier espace « contraintes et nécessités » qui permet de rendre compte de la construction de la nécessité de la sélection naturelle, pour le formuler dans les termes de notre cadre théorique (figure 5-1).

Figure 5-1. « Espace contraintes et nécessités » de la première phase de la problématisation de Darwin (1865, chap. 1 à 5)

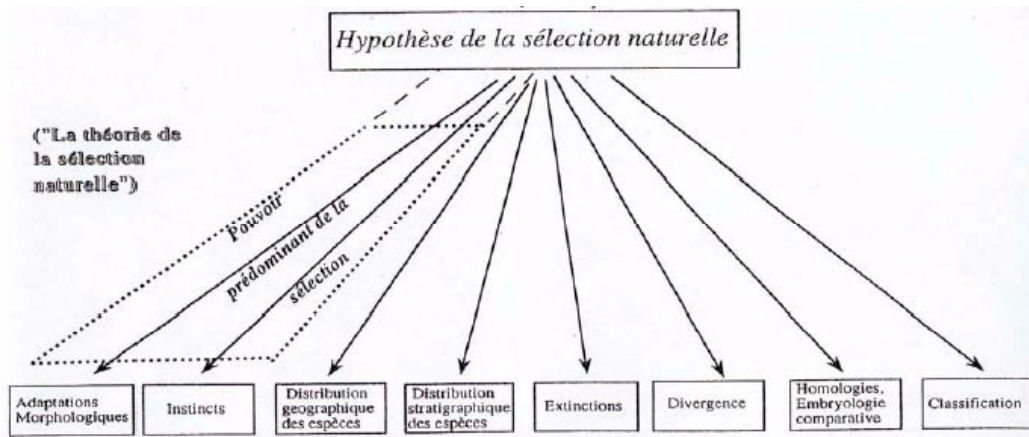


La sélection naturelle est fondée dans un caractère de nécessité par un mouvement apodictique qui s'appuie sur des contraintes de deux ordres différents : des contraintes empiriques (variabilité des individus au sein des espèces, avantage de certains caractères par rapport au milieu de vie) et des contraintes théoriques qui correspondent à l'instanciation d'élément du cadre épistémique de Darwin comme les concepts malthusiens. Le raisonnement, qui conduit à la nécessité de sélection naturelle, fait intervenir, à titre de modèle analogique, les techniques agronomiques de domestication et de sélection artificielle pratiquées depuis les débuts de l'agriculture. De ce point de vue, c'est le type de relation entre les contraintes empiriques, les contraintes théoriques et la nécessité sur le modèle qui correspondrait à une instanciation du cadre épistémique (l'instanciation aurait lieu dans le trait qui articule contraintes et nécessités).

Dans les derniers chapitre de *L'origine des espèces* (7 à 12), « la sélection joue le rôle d'un principe qui explique diverses classes de faits indépendants » (Gayon, 2000, p. 207), comme le présente la figure 5-2. Ici, la sélection naturelle joue le rôle d'« une

loi exprimant les effets de composition de la variation accidentelle, de l'hérédité et de la concurrence vitale » (Canguilhem, 1968, p. 108).

Figure 5-2. Les différentes classes de faits expliquées par la sélection naturelle (d'après Gayon, 2000, p. 207).



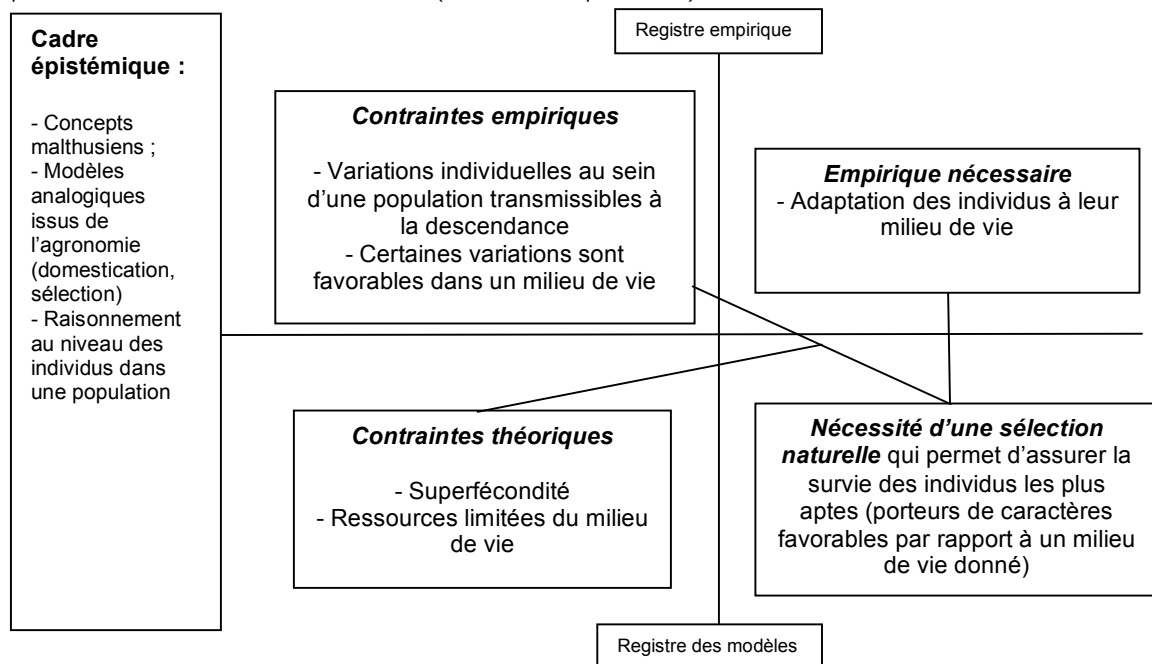
Dans le second temps de l'argumentation de Darwin, il y a, pour le dire dans les termes de la problématisation, un changement de problématique. Ici, la sélection naturelle est mobilisée pour sa capacité explicative. Ce qui est intéressant, si l'on se place dans le cadre de la problématisation, c'est que la mobilisation du principe de sélection naturelle permet une réinterprétation d'un certain nombre d'éléments considérés jusque-là comme des éléments empiriques. Par exemple, l'adaptation des êtres vivants à leur milieu de vie est quelque chose que l'on constate. Dans la seconde partie de *L'origine des espèces*, la mobilisation de la nécessité de sélection naturelle permet d'établir le caractère nécessaire de l'adaptation. Comme la sélection naturelle joue, les individus sont, au final, nécessairement adaptés à leur milieu de vie (il ne peut en être autrement). Ce mouvement de problématisation provoquerait la « migration » de certains éléments vers les empiriques nécessaires : l'adaptation devenant ainsi un empirique nécessaire. Avant de construire l'espace « contraintes et nécessités » qui va nous permettre d'expliquer la capacité explicative de la sélection naturelle, nous allons voir comment Darwin articule ces deux questions : sélection naturelle et apparition de nouvelles espèces, en lien avec le concept d'adaptation.

Pour Darwin (comme pour Wallace qui développe, au même moment, des idées similaires, même s'il n'utilise jamais le terme de sélection naturelle, lui préférant l'expression de « *survivance du plus apte* »), la sélection naturelle correspond au « *principe moteur du changement évolutif* » (Tattersall, 2003, p. 47) et « *entre sélection naturelle et changement de population, le rôle intermédiaire est joué par l'adaptation* » (*ibid.*, p. 48). C'est ce que Darwin appelle le « pouvoir prédominant » de la sélection

naturelle (qu'il distingue de sa capacité explicative) : « *les adaptations sont l'effet causal immédiat du processus de sélection* » (Gayon, 2000, p. 209).

Voyons comment nous pouvons en rendre compte par la construction d'un espace « contraintes et nécessité » (Figure 5-3).

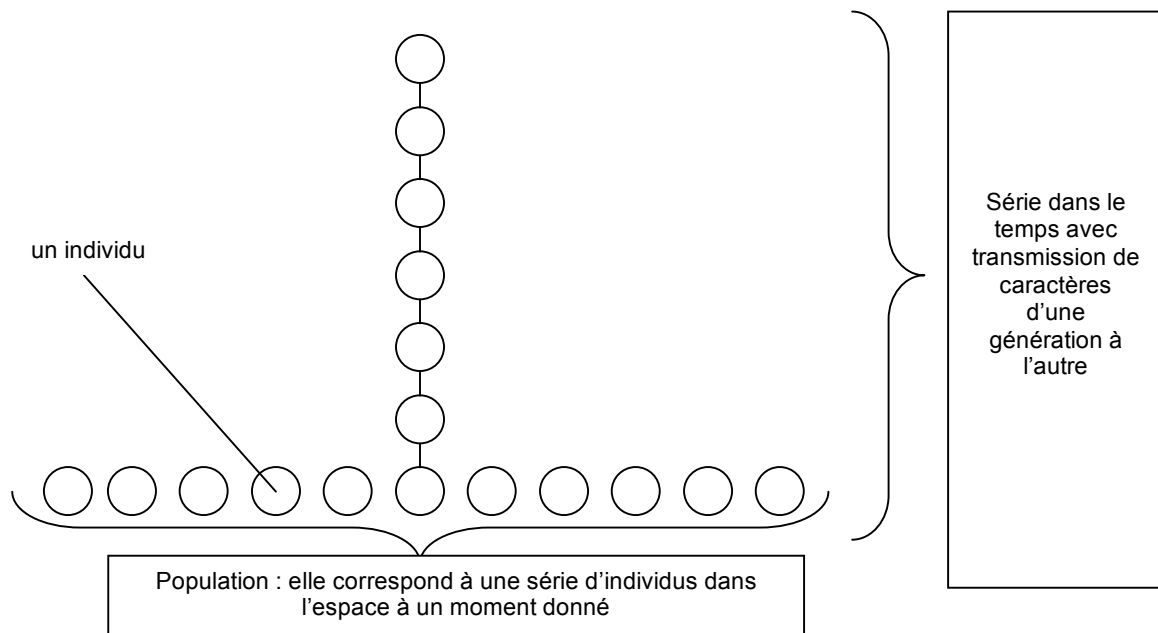
Figure 5-3. Espace « contraintes et nécessités » de la deuxième phase la problématisation de Darwin (1865, chap. 7-12)



Comme les variations individuelles sont transmissibles à la descendance¹³, cela permet à la sélection naturelle de jouer, plus seulement sur les individus au sein d'une population donnée (série d'individus dans une dimension horizontale), mais également sur des séries dans le temps (succession de séries dans le temps, dans une dimension verticale) reliées entre-elles par la transmission de caractères d'une génération à l'autre comme nous essayons de le présenter sur la figure 5-4.

¹³ « Toute variation non héréditaire est sans intérêt pour nous » (Darwin, 1859/1874, p. 13).

Figure 5-4. Les deux séries d'êtres vivants pour penser le concept d'espèce



Ainsi, en fonction des conditions particulières propres à chaque milieu de vie et en vertu du processus de sélection naturelle, à moyen terme, les êtres vivants seront adaptés à leur milieu de vie puisque seuls les individus disposant de caractères avantageux par rapport à ce milieu survivent et peuvent ainsi transmettre ces caractères à leur descendance¹⁴.

C'est par un tel raisonnement que Darwin parvient à séparer « *le concept d'adaptation de toute référence à une finalité préordonnée* » (Canguilhem, 1981, p. 132). Il assure, par rapport au modèle lamarckien qui proposait une adaptation progressive des êtres vivants par rapport à leur condition de vie¹⁵, une inversion entre l'apparition d'un être vivant et son adaptation. Chez Lamarck « *l'intention adaptative précède toujours la réalisation* » (Jacob, 1970, p. 166), ce qui implique la « *nécessité de faire agir le milieu sur l'hérédité à travers désirs, besoins, habitudes et actes* » (*ibid.*). Chez Darwin, la variation se fait au hasard, « *en l'absence de toute relation entre cause et le résultat* » (*ibid.*, p. 192) et c'est à partir de cette variabilité qu'un tri s'effectue entre les individus en fonction des caractéristiques de leur milieu de vie, ainsi

¹⁴ Il faudra attendre les travaux de Weismann pour que l'expression « *hérédité des caractères acquis* » prenne du sens. Il n'en avait ni pour Lamarck, ni pour Darwin (Pichot, 1993 ; Gayon, 2006). D'ailleurs Pichot précise que Darwin, à la différence de Lamarck, propose un mécanisme pour expliquer cette transmission des caractères acquis (1993, p. 813).

¹⁵ « *La plasticité des structures du vivant, la souplesse de ses mécanismes permettent alors à l'organisme, non pas de s'insérer dans le monde qui l'entoure, mais d'insérer peu à peu ce monde dans son hérédité* » (Jacob, 1970, p. 166).

« *l'adaptation devient le résultat d'une partie subtile entre les organismes et ce qui les entoure* » (*ibid.*, p. 193).

Pour passer de l'adaptation à la formation ou de la disparition d'espèces, il suffit d'amplifier le rôle joué par le temps. Cette amplification permet l'accumulation de petits changements « *qui vont dans le sens d'une meilleure aptitude à vivre et/ou à laisser des descendants* » (Pichot, 1993, p. 805). Après un temps long et irréversible, cela conduit à la formation de nouvelles espèces qui dérivent les unes des autres (ce qui correspond à la prise en compte de la dimension verticale représentée sur la figure 5-4). « *Survenues à l'aveugle, les variations s'orientent dans la direction que leur impose la tri sans pitié de la sélection naturelle* » (Jacob, 1970, p. 193). Darwin déplace alors la nécessité dans « *les seuls effets d'une sélection qu'impose l'obligation de vivre sous certaines conditions* » (*ibid.*, p. 195) en donnant au hasard un rôle dans l'apparition des nouveautés¹⁶. Si le temps est suffisamment long, il doit nécessairement se produire un changement évolutif avec l'apparition de nouvelles espèces (et la disparition d'anciennes¹⁷) ayant des liens de descendance entre elles.

Dans la deuxième phase de la problématisation de Darwin, un certain nombre d'éléments empiriques que l'on connaissait déjà changent de statut, ce qui se traduit par un remplissage de la case des empiriques nécessaires. C'est bien parce que l'on peut établir le caractère nécessaire de certains éléments d'observation (adaptation, apparition et disparition de certaines espèces) que l'on peut dire, à la suite de Gayon (2000), que la sélection naturelle a une grande capacité explicative (ou une grande « *puissance heuristique* » pour reprendre la formule de Lecourt, 1992/2002, p. 123).

Les deux phases de cette problématisation historique (les arguments qui rendent la sélection naturelle nécessaire, d'une part, et, d'autre part, son pouvoir explicatif) montrent bien, dès l'origine, que la théorie darwinienne de l'évolution des espèces n'est « *n'est ni une "théorie" ni un "fait", ou si l'on veut, qu'elle est tout à la fois une "fait" et une "théorie"* » (Lecourt, p. 123). Lecourt parle de l'évolution comme d'un « *fait de la pensée* » (*ibid.*)¹⁸. En effet, c'est bien une théorie puisqu'elle repose sur un cadre

¹⁶ Ruffié parle pour le lamarckisme de « *nécessité sans le hasard* » et pour le darwinisme de « *hasard avec nécessité* » (1976, p. 43, 45).

¹⁷ Pichot note que ce point distingue Darwin de Lamarck qui « *était, lui, incapable d'expliquer une telle disparition* » (1993, p. 797).

¹⁸ C'est d'ailleurs l'oubli de cette double dimension fait ET théorie qui rend l'évolution fragile par rapport aux attaques des créationnistes et de l'*intelligent design*. « *C'est bien l'opposition de ces deux termes qui embrouille tout ; le couple fait-théorie qui engage la pensée dans une impasse philosophique* » (Lecourt, 1992/2002, p. 117). Car si l'évolution n'est qu'une théorie, alors elle ne vaut pas plus que n'importe quelle autre théorie et si l'évolution est un fait, cela conduit rapidement à des postures dogmatiques qui se placent sur le même terrain que les tenants du créationnisme (Lecourt, 1992 ; Rumelhard, 2009 ; Fortin, 2009a).

épistémique spécifique sans qui elle n'aurait pas de caractère de nécessité et c'est bien un fait puisqu'elle permet d'expliquer, en les réinterprétant, un ensemble conséquent d'éléments empiriques.

Avant de voir comment à évoluer le « fait de la pensée » de l'évolution au cours du XX^e siècle, nous allons indiquer les conditions de possibilité de l'émergence du concept de sélection naturelle et de ses limites.

1.1.2. Conditions de possibilité du concept de sélection naturelle et limites

Nous allons pointer quelques conditions de possibilité pour l'émergence du concept de sélection naturelle.

La première, semble-t-il, renvoie à une rupture dans la façon dont on conçoit le monde. Foucault indique qu'au XVIII^e siècle, « *la continuité de la nature est exigée par toute histoire naturelle* » (1966, p. 160)¹⁹, ce qui rend impossible la moindre idée d'un évolutionnisme ou d'un transformisme. Ainsi jusqu'au milieu du XIX^e siècle, la structure du monde vivant traduit une « *nécessité transcendante* » (Jacob, 1970, p. 190). Ce sont les apports de l'anatomie comparée, de l'embryologie et de l'histologie qui permettent d'envisager que les êtres vivants observables actuellement n'existent pas forcément de toute éternité.

Parallèlement à cela, il faut également envisager d'une nouvelle façon les relations entre les êtres vivants et leur milieu de vie²⁰. Jusqu'à Darwin, les êtres vivants sont liés à leur milieu de vie, sans qu'il y ait d'interactions entre eux. Ainsi « *pour que fût concevable l'idée d'une transmutation des espèces par une adaptation aléatoire aux contraintes du milieu, à partir de différences individuelles, il fallait détruire l'idée d'une adaptation préordonnée, pour chaque espèce de créature, entre sa structure et son mode de vie* » (Canguilhem, 1981, p. 102).

Une deuxième condition de possibilité renvoie à une nouvelle façon de regarder les êtres vivants. En effet, il y a deux façons d'envisager une collection d'êtres vivants.

¹⁹ Canguilhem indique que cette « *croissance en l'existence nécessaire et à la stabilité d'un ordre naturel* » organise toutes les classifications depuis Aristote. Il indique également que l'on retrouve cette idée chez Lamarck qui propose une série unique, graduée et progressive (1968, p. 103).

²⁰ Au sujet des relations entre organisme et milieu voir « *Le vivant et son milieu* », Canguilhem, 1965/2003, p. 165-197.

Soit on s'intéresse au type auquel chaque être vivant peut être référé. De ce point de vue, on ne s'intéresse pas aux individus en tant que tels. On fait comme si chaque membre d'une espèce connue était identique au type, on n'accorde donc pas d'importance aux variations individuelles, on ne les voit pas²¹. C'est ce que Jacob appelle la « *pensée typologique* » (1979, p. 148).

Soit on s'intéresse à chaque être vivant, aux caractéristiques qui peuvent le singulariser du type. Ce qui importe alors ce n'est plus le type, mais la population dans son ensemble, à travers sa distribution dans l'espace et le temps pour reprendre la figure 5-4. Deux conséquences : dans cette pensée populationniste, la variation n'est pas seulement un problème d'individus, mais de population. Darwin montre également comment « *à partir de l'individu, ce qu'on va pouvoir établir comme son espèce, son ordre, sa classe sera la règle de la généalogie, c'est-à-dire la suite des individus* » (Foucault, 1994/2001, p. 901).

Le passage d'une pensée typologique à une pensée populationniste, qui « *marque le début de la pensée scientifique moderne* » (Jacob, 1970, p. 191), est une condition de possibilité de l'émergence de l'évolution²².

Une dernière condition de possibilité concerne la façon de concevoir le temps dans les sciences de la vie. En effet, au XVIII^e siècle, le temps ne peut que dessiner « *la ligne le long de laquelle se succèdent toutes les valeurs possibles des variables préétablies* » (Foucault, 1966, p. 166). Par rapport à cette épistémé, Darwin (en appui sur les travaux des embryologistes de son époque) introduit une nouvelle dimension dans l'étude de la constitution du monde vivant : celle du temps irréversible (le temps de l'histoire et pas le temps réversible de la physique de la première moitié XIX^e siècle). Dans *L'origine des espèces*, le temps de la vie n'est plus considéré comme un pouvoir qui permettrait de faire apparaître les valeurs préétablies, mais il est « *perçu directement dans des effets en apparence distincts, en réalité unifiés par leur complémentarité* » (Canguilhem, 1981, p. 106). C'est la « *reconnaissance du temps comme agent de l'organisation des formes vivantes – par l'apparition de variations individuelles d'emblée héréditaires, par leur conservation aléatoire et précaire* » (*ibid.*, p. 106-107) qui constitue une condition de possibilité de la construction du concept de sélection naturelle.

²¹ Foucault précise ainsi que, pour Cuvier, l'espèce constitue « *une réalité originellement première et analytiquement ultime* » (1994/2001, p. 898). Chez Cuvier, il y a un « *seuil épistémologique* » entre l'espèce et l'individu, seuil « *à partir duquel la connaissance scientifique peut commencer* » (*ibid.*, p. 900).

²² Foucault montre que cette transformation a été rendue possible par les travaux de Cuvier (1994/2001, p. 898-934).

Ainsi, pour conclure avec Jacob, « *ce qui sépare de toute pensée antérieure l'évolutionnisme de Darwin et de Wallace, c'est la notion de contingence appliquée aux êtres vivants* » (1970, p. 170).

Il convient de souligner qu'il y a une limite importante aux idées de Darwin : l'inconnu des mécanismes de l'hérédité. Canguilhem souligne d'ailleurs que Darwin « *reste, sur la question de l'hérédité, un homme du XVIII^e siècle. De Maupertuis à lui, aucun changement réel dans la façon de poser le problème* » (1981, p. 107). Ce qui se transmet d'une génération à l'autre, « *c'est une miniaturisation intégrale de l'organisme individuel, par concentration dans les cellules reproductrices de cellules particulières* » (*ibid.*). Par-là, Darwin, comme les autres, confond la question de l'hérédité avec celle de la reproduction. Ainsi l'évolution reste, à la fin du XIX^e siècle, une idéologie et il faut attendre le développement de la génétique au XX^e siècle pour que se trouvent confirmées les conceptions darwiniennes (*ibid.*, p. 103).

1.1.3. Ce que l'on sait et ne sait pas de l'évolution actuellement

Il convient de préciser que même si les travaux des généticiens ont permis de montrer que « *Darwin avait raison de poser le problème de l'évolution des espèces dans les termes qu'il a dû inventer* » (Canguilhem, 1981, p. 103), l'évolution est constituée « *de beaucoup plus de cas particuliers que de principes généraux* » (Langaney, 1999, p. 120)²³. Ainsi nous pouvons, à la suite de Langaney, distinguer les propositions solides qui constituent « *le principe général de l'histoire de la vie et celles portant sur les mécanismes de l'évolution, souvent plus fragiles et sujettes à débat* » (*ibid.*, p. 121).

1.1.3.1. Les propositions solides concernant le principe général de l'histoire de la vie

L'ensemble des propositions générales sur l'évolution font l'objet d'un accord au sein de la communauté scientifique. Nous les précisons maintenant.

1/ La longue durée des temps géologiques repose maintenant sur le croisement de données issues de différentes techniques de datation ;

²³ Afin de ne pas tomber dans un dogmatisme scientiste qui fait le lit du créationnisme (Lecourt, 1992).

2/ La génétique de la reproduction explique la variabilité des caractères qualitatifs et les modifications dans le temps de la fréquence de ces caractères dans une population, expliquant ainsi la transformation des populations au fil des générations²⁴ ;

3/ L'hypothèse d'une origine commune à tous les êtres vivants semble également confirmée par les nombreux travaux phylogénétiques (voir section 1.2.).

1.1.3.2. Les points en discussion concernant les mécanismes de l'évolution

Depuis les années 1970, deux types de critiques sont formulées à la *théorie synthétique de l'évolution* (Gayon, 2000, p. 209-212). Certaines concernent le fait que la sélection naturelle soit suffisante pour expliquer, à elle seule, les différentes classes de faits relevés par Darwin (figure 5-2), nous les présenterons. Les autres concernent les relations entre la sélection naturelle et l'amélioration continue des adaptations, c'est-à-dire le « *pouvoir prédominant* » de la sélection.

- Les critiques concernant le pouvoir explicatif de la sélection naturelle

Raup (1993) rappelle que la sélection naturelle ne permet pas d'expliquer les grandes extinctions de masse. Pour les expliquer, il convient de faire appel à d'autres facteurs que ceux de la concurrence interspécifique, comme des modifications importantes de l'environnement physique dues à des collisions météoritiques, à des manifestations volcaniques considérables...

De la même façon, la *théorie des équilibres ponctués* d'Eldredge et Gould (paléontologues spécialistes des trilobites pour le premier et des escargots terrestres pour le second) répond à la *théorie gradualiste* de Dobzhansky (généticien), Mayr (ornithologue) et Simpson (paléontologue) proposée entre 1937 et 1944. La théorie gradualiste repose sur l'idée que « *toutes les dimensions importantes du changement évolutif pouvaient se réduire, d'une manière ou d'une autre, à la modification, génération par génération, de la fréquence des gènes dans la population par l'effet de la sélection naturelle* » (Tattersall, 2003, p. 50). La théorie gradualiste insiste sur la continuité et promeut une vision linéaire de l'évolution qui n'est pas en accord avec les

²⁴ Notons d'ailleurs que les mécanismes génétiques n'expliquent pas encore les modifications des caractères qualitatifs à partir desquels Darwin a établi le concept de sélection naturelle.

données paléontologiques, puisque les archives fossiles sont pleines de discontinuité²⁵. En effet, elles montrent que c'est plutôt l'absence de changement qui domine dans les collections. Ainsi Eldredge et Gould proposent une théorie alternative : « *au lieu de voir l'évolution, dans la plupart des cas, comme un processus graduel, [ils] pensaient qu'elle était faite d'innovations sporadiques (les ponctuations), ce qui expliquait l'apparition soudaine de nouvelles espèces dans nos archives fossiles* » (Tattersall, 2003, p. 54)²⁶. L'histoire de la vie correspond donc à « *un développement ponctué de brefs épisodes d'extinctions massives, quelquefois instantanées, suivis de périodes de diversification* » (Gould, 1991/1998, p. 60). Ainsi, cette théorie, même si elle permet de rendre compte des archives fossiles, confère un rôle déterminant à la spéciation (apparition de nouvelles espèces dans les archives fossiles) qui reste pourtant « *la boîte noire de la biologie, c'est-à-dire un phénomène d'une importance déterminante mais encore mal compris* » (Tattersall, 2003, p. 55).

La **théorie neutraliste de l'évolution moléculaire** (Kimura, 1991) ne conteste pas le rôle de la sélection naturelle dans le processus de l'évolution, mais explique « *l'évolution des fréquences des gènes par les seuls effets des mutations et de la dérive génétique* » (Langaney, 1999, p. 129). Les développements de la génétique des populations a conduit à montrer que la fréquence des allèles transmis d'une génération à la suivante n'est pas déterminée précisément, mais fait intervenir une loi probabiliste.

Ainsi, depuis l'introduction du concept de sélection naturelle par Darwin, de nouveaux mécanismes intervenant dans l'évolution ont été mis à jour (dérive génétique, fixation de gènes au hasard, sélection indirecte entraînée par une liaison de gènes...). Et même si les débats actuels ne portent pas sur l'existence ou non de la sélection naturelle, « *le problème est de préciser le poids relatif de ces processus dans l'évolution* » (Jacob, 1981, p. 43)²⁷. Du point de vue de la compréhension des processus de l'évolution, il n'y a plus qu'un seul mécanisme pour en rendre compte mais plusieurs qui cohabitent et qui peuvent même se combiner les uns aux autres.

Ces différents apports ont conduit à remettre en question plusieurs points relatifs à la façon de concevoir l'évolution des êtres vivants, notamment ce que Gould appelle le « *mythe du progrès* » (Gould, 1997). Ainsi, très souvent, « *la marche du progrès est la représentation archétypale de l'évolution – son image même – immédiatement saisie et*

²⁵ Langaney précise que le gradualisme n'explique bien « *que des cas particuliers, et pas les plus intéressants* » (1999, p. 126).

²⁶ Pour une analyse de la controverse sur l'interprétation de la documentation fossile entre les tenants de la théorie gradualiste et ceux de la théorie des équilibres ponctués, voir Tassy, 1991, p. 51-90.

²⁷ En 2007, Duboule indique que les progrès dans le champ de la biologie du développement conduisent à remettre en question « *les poids respectifs de la variation et de la sélection naturelle* » dans les processus qui conduisent à l'évolution des espèces.

instinctivement comprise par tout le monde » (Gould, 1991, p. 30), alors que « *l'évolution de la vie à la surface de la planète est conforme au style du buisson touffu doté d'innombrables branches, et continuellement élagué par le sinistre sécateur de l'extinction* » (*ibid.*, p. 34). Cette question du progrès constituait déjà une différence de position entre Darwin et Lamarck. Pichot indique que « *Darwin nie une telle tendance à la complexification non pas sur la base d'une observation (il voit bien que les êtres se complexifient dans la classification), mais sur l'ignorance où il est de sa nature* » (1993, p. 820).

- Les critiques concernant le pouvoir prédominant de la sélection naturelle par rapport à l'évolution

Ces critiques, plus rares que les précédentes, visent à montrer que la « *complexité impose de sérieuses limites au pouvoir adaptatif de la sélection naturelle* » (Gayon, 2000, p. 211). Il s'agit de modèles théoriques qui ont permis de montrer, par exemple, que des propriétés génériques (comme le rapport entre le nombre de types cellulaires et le nombre de gènes) « *apparaissent spontanément en vertu de leur complexité intrinsèque, quelles que soient les contraintes* » (*ibid.*, p. 211-212), ce qui vient remettre en question l'évidence des liens entre sélection naturelle et adaptation des êtres vivants.

1.1.4. Conclusion

Cette analyse épistémologique a permis de préciser comment Darwin a construit le concept de sélection naturelle et à partir de lui, rendu compte de l'évolution des espèces. Nous avons également indiqué les conditions de possibilité du concept de sélection naturelle et par-delà de celui d'évolution. Un point de situation actuelle du « fait de la pensée » de l'évolution nous a également conduit à pointer quelques questions vives. Tous ces éléments vont pouvoir nous servir à déterminer les profils épistémologiques de nos élèves pour comprendre comment ils abordent la problématisation de ce concept.

De plus, cela nous a permis de présenter le cadre dans lequel sont pensées les relations de parenté entre êtres vivants. Nous allons présenter maintenant le concept d'ancêtre commun hypothétique.

1.2. L'ancêtre hypothétique commun : une analyse épistémologique

1.2.1. L'ancêtre commun dans la systématique phylogénétique : apport de Hennig

C'est dans le contexte de l'évolution que Willi Hennig, entomologiste allemand, propose dans les années 1960 une approche résolument nouvelle dans la construction des arbres phylogénétiques²⁸. L'approche d'Hennig est différente puisqu'il propose des arbres « *sans ancêtre qui, pourtant, ne parlent que d'ascendance* » (Tassy, 1997, p. 74), dans le sens où l'on ne cherche pas à savoir si telle espèce est l'ancêtre de telle autre, contrairement à l'approche de la systématique évolutionniste, de Mayr et Simpson, qui recherchait parmi les archives fossiles, des ancêtres, des « groupes ancestraux » ou des « chaînons manquants ».

C'est sur la question de la reprise et de l'analyse plus fine du concept d'homologie qu'Hennig a introduit une nouvelle approche méthodologique. Les homologies désignent les ressemblances, qui existent entre différentes espèces, qui sont dues à leur ascendance commune. Il semble que les homologies aient été perçues depuis Aristote, mais le concept n'est explicité, sous le terme d'analogie, par Saint-Hilaire qu'au début du XIX^e siècle dans le champ de l'anatomie comparée²⁹. Ce concept est formalisé par Owen vers 1850 qui distingue alors l'homologie et l'analogie (de Ricqlès, 1996, p. 7). L'analogie devient une ressemblance entre espèces sans rapport avec la filiation (cas des convergences, par exemple, qui désignent « *des traits observés chez telle et telle espèce mais en fait apparus indépendamment* » [Darlu & Tassy, 1993, p. 19]). Comme le précise Ricqlès, « *l'apport original d'Hennig va, paradoxalement, consister à démembrer ce concept* » (1996, p. 7), plus précisément à l'interpréter dans une perspective évolutionniste. Ce déplacement lui permet « *de proposer une explication non plus seulement formelle, mais causale, de la répartition taxique des états des caractères* » (*ibid.*). Hennig distingue alors, parmi les caractères homologues, deux types d'état : un état primitif (ou état plésiomorphe) et un état transformé (ou état apomorphe). Comme le précisent Darlu et Tassy, « *cette constatation est triviale : des*

²⁸ Le premier arbre présentant les relations évolutives entre les êtres vivants a été proposé par Haeckel vers 1866.

²⁹ « *La recherche des homologies – similitudes liées à la descendance – est la base même de l'anatomie comparée* » (Darlu & Tassy, 1993, p. 16).

caractères se transforment, d'autres pas. Le nombre de doigts à la main de l'homme est primitif, tandis que le cortex de son cerveau est dérivé [transformé] » (1993, p. 33), ce qu'Hennig attribue à une vitesse différente d'évolution des caractères. Les caractères primitifs sont ceux qui ont le moins évolué alors que les caractères transformés sont ceux qui ont subi les innovations les plus récentes dans l'histoire évolutive.

À partir de ce constat, Hennig montre que *« l'existence de caractères dérivés partagés, c'est-à-dire la synapomorphie, exprime l'apparement de façon précise et non-ambiguë »* (de Ricqlès, 1996, p. 7). C'est sur ce dernier point que l'approche d'Hennig est novatrice puisque, jusqu'à lui, la recherche de caractères primitifs communs était la règle. C'est le principe de partition, aujourd'hui admis par la communauté scientifique, entre caractères transformés et caractères primitifs : *« seul le partage par différentes espèces de caractères dont l'état est transformé (homologie phylogénétique ou synapomorphie) est signe d'une parenté étroite : c'est la ressemblance due à une ascendance commune. Au contraire, les caractères restés à l'état primitif (symplesiomorphie) ne témoignent pas d'une parenté »* (Tassy, 1997, p. 74).

Ensuite pour reconstituer la phylogénie, on regroupe les taxons³⁰ synapomorphes ainsi que l'ancêtre à ces deux taxons pour constituer un groupe monophylétique : l'apport d'Hennig consiste en l'introduction d'ancêtres communs exclusifs, ou pour le dire autrement, d'ancêtres communs qui ne sont pas les ancêtres d'autres taxons. Ainsi Hennig met en évidence l'existence dans les anciennes classifications, à côté des groupes monophylétiques, de groupes paraphylétiques qui regroupent des taxons par la possession de caractères homologues primitifs³¹. Un groupe paraphylétique n'a pas d'ancêtre commun exclusif puisqu'il le partage avec d'autres groupes (ce n'est donc pas un ancêtre commun exclusif). Par ailleurs, comme certains descendants sont exclus de ce groupe, le groupe n'a pas d'histoire propre. De Ricqlès en conclut que les groupes paraphylétiques *« ne peuvent être l'objet, ni constituer le résultat de mécanismes évolutifs concrets »* (1996, p. 8).

Pour construire les relations entre différents groupes monophylétiques et aboutir à la construction d'un arbre phylogénétique, il convient d'analyser l'état d'un grand nombre de caractères. Ensuite, les arbres sont construits en fonction du principe de parcimonie³², c'est-à-dire que le chercheur regroupe les taxons présentant le plus

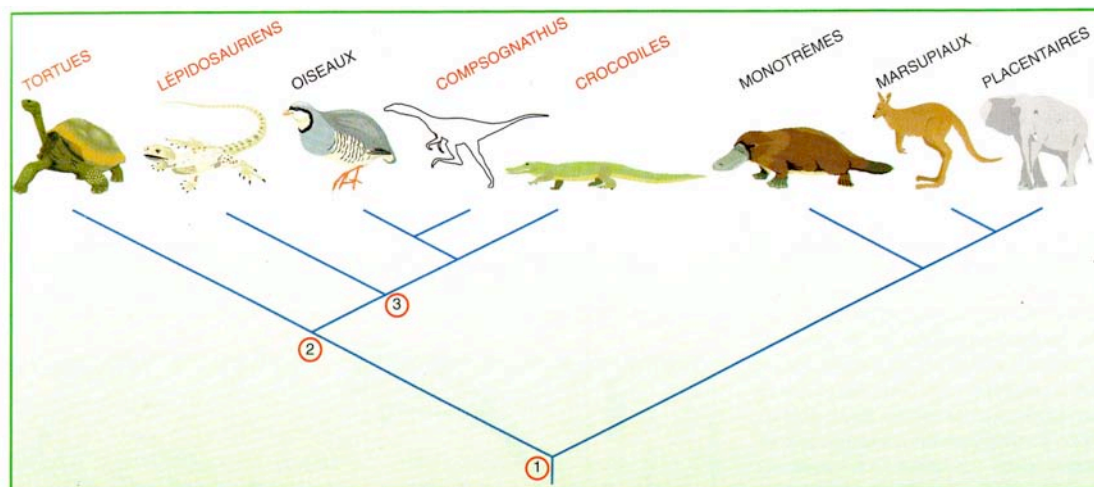
³⁰ Le taxon est un groupe d'organismes formant une unité bien délimitée à chacun des différents niveaux hiérarchiques de la classification. Les espèces, les genres, les familles, les ordres sont des taxons de différents niveaux hiérarchiques.

³¹ Le groupe des Reptiles, présenté en rouge sur la figure 5-5, est un exemple de groupe paraphylétique.

³² Le principe de parcimonie c'est l'hypothèse que *« l'estimation la plus plausible d'un arbre évolutif est celle qui fait appel à la quantité minimale d'évolution »* (Darlu & Tassy, 1993, p. 69). C'est le

d'homologies phylogénétiques et le moins d'homoplasies³³. La figure 5-5 présente un arbre phylogénétique pour le taxon des amniotes.

Figure 5-5. Relations de parenté des amniotes actuels (Tassy, 1997, p. 76)



RELATIONS DE PARENTÉ DES AMNIOTES ACTUELS avec l'inclusion d'un fossile (*Compsognathus*). Si un crocodile ressemble à un lézard (groupe des lépidosauriens), ce n'est qu'en raison de nombreux caractères restés primitifs (hérités des ancêtres 1, 2 ou 3) mais non en raison d'une parenté phylogénétique étroite. Au contraire, crocodiles et oiseaux sont étroitement apparentés, quoique peu ressemblants. C'est pourquoi la classe des Reptilia

(en rouge), faute d'inclure les oiseaux, n'est pas un concept phylogénétique. Les fossiles qu'on appelle dinosaures (ici représentés par *Compsognathus*) effacent l'hiatus morphologique qui sépare dans la nature actuelle oiseaux et crocodiles. De même que les chauves-souris sont des mammifères aériens, les oiseaux sont des dinosaures adaptés au vol. *Compsognathus* n'est pas pour autant l'ancêtre des oiseaux.

1.2.2. Le concept d'ancêtre commun

Sur de tels arbres phylogénétiques, au niveau de chaque bifurcation, on peut placer un ancêtre commun hypothétique. Il s'agit, comme le précise de Ricqlès « *d'une abstraction, d'une collection d'états de caractères, associés à un moment du temps* » (1996, p. 11). Ainsi, un ancêtre commun hypothétique représente « *les parents dont les descendants non identiques, se sont séparés pour constituer deux espèces différentes. [...] Il s'agit d'une fiction qui résume simplement une très large diversité d'hypothèses concernant les événements susceptibles d'aboutir à l'émergence d'une nouvelle espèce et dont la plupart sont impossibles à préciser* » (Heguerta, 2006, p. 50). C'est d'une fiction dans le sens où « *nous n'avons pas accès à l'identité individuelle des ancêtres. Nous ne pouvons connaître d'eux que certains traits. Même s'ils ont bien existé, ils resteront à jamais à notre connaissance que des portraits robots, des puzzles incomplets, et non des réalités concrètes. C'est pour cela que l'on dit "ancêtre commun*

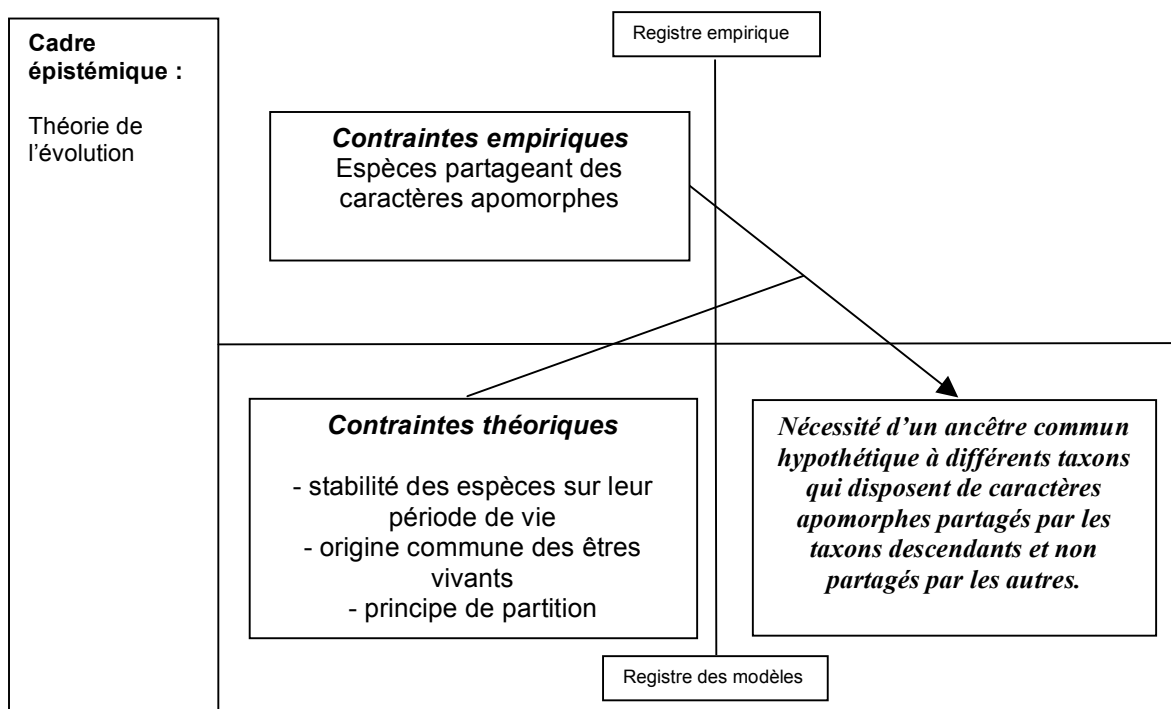
principe d'économie puisque « *le partage, par différentes espèces, d'un même caractère hérité d'une espèce ancestrale commune n'implique qu'un seul événement évolutif* » (Tassy, 1991, p. 57)

³³ Une homoplasie désigne soit des caractères qui ont subi de façon indépendante la même transformation (convergence évolutive comme la nageoire des dauphins ou l'aile de la chauve souris), soit des caractères qui sont retournés dans un état ancestral (réversion).

hypothétique". La reconstitution que je peux en donner est hypothétique » (Lecointre, 2006).

À partir de ces différents éléments, nous pouvons construire un espace « contraintes et nécessités » qui tente de rendre compte du concept d'ancêtre commun dans le cadre de l'approche par la systématique phylogénétique. Il est présenté sur la figure 5-6.

Figure 5-6. Espace « contraintes et nécessités » de la problématisation du concept d'ancêtre hypothétique commun dans le cadre de la systématique phylogénétique



En se plaçant dans un cas simple, si deux espèces partagent des caractères apomorphes, compte tenu du principe de partition (les caractères apomorphes proviennent d'un ancêtre commun exclusif), dans un cadre explicatif évolutionniste où, comme le rappelle Tattersall (2003, p. 138), c'est à Charles Darwin et Alfred Russel Wallace « qu'il revient d'avoir découvert la notion de "descendance d'ancêtre commun", grâce à laquelle il était désormais possible d'expliquer l'ordre existant dans la nature », alors ces deux espèces ont nécessairement un ancêtre commun hypothétique. Ancêtre commun qui disposait du caractère apomorphe.

On pourrait même concevoir, à propos de caractères précis, d'établir des nécessités empiriques. De Ricqlès précise qu'avec la mise en œuvre de la systématique phylogénétique, « on peut prévoir l'ordre d'apparition ou de ségrégation des différents

lignages collatéraux porteurs d'attributs particuliers, quand bien même la documentation paléontologique concrète demeurerait lacunaire » (1996, p. 12).

Au final, la constitution de groupes monophylétiques constitue un moyen de classer³⁴ les êtres vivants selon une relation d'ordre, symbolisée par l'utilisation des arbres phylogénétiques³⁵. La synapomorphie permet d'établir des critères problématisés définis, par Orange-Ravachol et Ribaud, comme des critères « *dont on a discuté la pertinence en se demandant pourquoi il est possible de les choisir et pourquoi il est impossible que tel autre ne soit pas retenu* » (2006, p. 183). Les principes de Hennig constituent la théorie sous-jacente à l'assignation d'un caractère à un taxon (Tassy, 2004). Pour terminer cette analyse, il convient d'indiquer les conditions de possibilité qui ont permis la construction du concept d'ancêtre hypothétique commun.

1.2.3. Conditions de possibilité du concept d'ancêtre hypothétique commun

D'après Tassy (1997) c'est la mathématisation de la taxonomie³⁶ qui conduit au développement de deux critiques adressées à la systématique évolutive issue de la théorie synthétique de l'évolution de Dobzhansky, Mayr et Simpson.

La première critique est émise par les tenants de la taxinomie numérique qui critiquent les « *hypothèses phylogénétiques vagues : tantôt il s'agissait de grades, tantôt il s'agissait de clades* » (Tassy, 1991/1998, p. 144) sur lesquelles s'appuient les systématiciens évolutionnistes. Les taxonomistes numériques renoncent à la notion d'homologie qu'ils jugent vague et non applicable et ils lui substituent la mesure de la similitude globale. Elle permet la construction de phénogrammes ou dendrogrammes représentant les similitudes numériques. La mesure de la similitude globale est facilitée par l'augmentation de la puissance des calculateurs informatiques (calcul d'indices de ressemblance, de matrice de distances entre organismes...). Ce qui caractérise les phénogrammes c'est qu'ils ne renferment aucun groupe ancestral. Tassy précise que la taxinomie numérique est « *restée davantage un outil destiné à tel ou tel problème particulier qu'un corpus conceptuel efficient* » (2004, p. 198), justement parce qu'elle

³⁴ Foucault précise que les classifications « *ont toujours pour fin de déterminer le "caractère" qui groupe les individus et les espèces dans des unités plus générales, qui distingue ces unités les unes des autres, et qui leur permet enfin de s'emboîter de manière à former un tableau où tous les individus et tous les groupes, connus ou inconnus, pourront trouver leur place* » (1966, p. 238).

³⁵ Le principe de parcimonie permet en effet de « ranger » les ancêtres communs les uns par rapport aux autres. En effet, plus un ancêtre commun est spécifique, plus il concerne un nombre réduit d'espèces et donc plus il est récent dans un arbre phylogénétique.

³⁶ La taxinomie comprend la science des classifications et pas seulement la dénomination des espèces.

ne s'intéresse pas aux caractères individuels. Or, c'est bien du traitement des caractères individuels dont ont besoin les scientifiques pour concevoir des classifications, comme l'a déjà souligné Foucault (1966, p. 238, cité note 34).

Le second volet de critiques relève le manque de réflexion phylogénétique de la systématique évolutionniste, notamment « *l'économie d'une réflexion moderne sur l'homologie* » qui « *restreint son champ d'application* » (Tassy, 1991/1998, p. 158). C'est le développement de la biologie moléculaire et la construction de cladogrammes « *de façon algorithmiquement contrôlée* » (Tassy, 2004, p. 204), grâce à l'utilisation de l'outil informatique, qui assurent une autonomisation de la science phylogénétique. Avec ces outils, la phylogénétique entre, comme l'indique de Ricqlès, « *dans le domaine d'une méthodologie hypothético-déductive explicite qui se substitue aux opinions d'auteurs* » (1996, p. 12). Elle peut fournir des prévisions testables ouvrant la voie à de nouvelles propositions et contestations.

Le succès de la phylogénétique, à la suite des travaux de Hennig, conduit nécessairement à l'abandon de deux principes qui organisaient jusque-là la systématique évolutionniste et qui constituent, de notre point de vue, deux nouvelles conditions de possibilité de la construction du concept d'ancêtre hypothétique commun.

Tout d'abord, le principe de la synapomorphie conduit à l'abandon de la recherche de l'ancêtre ou du groupe ancestral, voire du « *chaînon manquant* » pour en rester à la mise en évidence des groupes monophylétiques qui partagent les mêmes caractères apomorphes. En effet, le cladogramme « *ne nous montre pas de groupes évolués émergents de groupes primitifs mais une succession de groupes reliés deux à deux, les groupes frères* » (Tassy, 1991/1998, p. 170). De ce fait, les ancêtres situés au niveau des noeuds des cladogrammes sont « *hypothétiques, reconstruits et non directement observés* » (*ibid.*)³⁷. Cette façon d'envisager la phylogénie s'oppose à la vision commune, longtemps relayée par les évolutionnistes, celle d'une relation concrète ancêtre -> descendant, c'est pourquoi de Ricqlès parle de « *mutation épistémologique* » (1996, p. 9).

Le second concept qui doit être abandonné pour s'engager dans une pratique phylogénétique est celui de grade qui regroupe « *nombre de taxons familiers et de rang variés, reconnus et admis depuis longtemps comme naturels* » (*ibid.*). L'abandon des grades nécessite une reconstruction de l'arbre du vivant. De Ricqlès (*ibid.*, p. 10) relève les différentes idées communes associées au concept de grade comme la conception linéaire et continue de l'échelle des êtres vivants qui est associée à l'idée de progrès, dans une vision anthropocentriste de la nature, puisque « *les grades ou "paliers*

³⁷ La reconstruction est basée sur les caractères apomorphes partagés par les groupes frères.

évolutifs” qui correspondent aux grands groupes traditionnels de vertébrés sont largement définis de manière négative par l’absence d’un caractère possédé par l’homme » (ibid.).

1.2.4. Conclusion

L’émergence de la science phylogénétique depuis les années 1960, en appui sur les développements de la puissance de calcul des ordinateurs et de la biologie moléculaire, a conduit à une révision importante de la classification des êtres vivants. Elle est désormais basée sur la construction de groupes monophylétiques regroupés pour obtenir les taxons d’ordre supérieur.

De plus, comme le précise de Ricqlès, l’établissement des relations phylogénétiques construites à partir de principes propres, relativement indépendants des mécanismes évolutifs, vient fournir un corpus de *patterns* phylogénétiques qui vont venir contraindre les explications concernant les *process* de l’évolution, en évitant « *les dangers de la circularité si fréquemment dénoncés, à juste titre, dans le cadre des approches traditionnelles* » (de Ricqlès, 1996, p. 12). Cela ouvre de nouvelles perspectives de recherche dans le champ de la biologie historique et évolutionniste, notamment au niveau de l’articulation entre les dimensions historiques et fonctionnelles de la biologie.


1.3. L’évolution dans les programmes scolaires

Les analyses épistémologiques des différents concepts montrent que les différents concepts présentés : sélection naturelle, groupes monophylétiques, ancêtres hypothétiques communs, sont organisés en système et s’inscrivent dans un registre explicatif évolutionniste. Quelle est la place de ce registre explicatif dans les programmes scolaires actuels ?

L’évolution est présente dans les programmes d’enseignement français actuels de l’école primaire (cycle 3) à la classe de terminale S. Orange a identifié « *quatre grandes fonctions de l’évolution dans les objets de savoirs listés par les programmes* » (2009, p. 36). L’évolution apparaît, selon les cas, tantôt comme une idée illustrée par des faits, tantôt comme un fait ou un phénomène à expliquer, tantôt comme un paradigme structurant de la biologie historique ou fonctionnaliste. Une analyse rapide des programmes du cycle 1 à la classe de terminale S lui a permis d’en identifier la trace (tableau 5-1).

Tableau 5-1. Les fonctions épistémologiques de l'évolution dans les programmes de SVT français (Orange, 2009, p. 42)

	Ideé illustrée par des faits	Ensemble de modèles explicatifs	Paradigme de la biologie historique	Paradigme de la biologie fonctionnelle
Cycle 3 de l'école primaire				
Sixième				
Cinquième				
Quatrième				
Troisième				
Seconde				
Première ES, L et Terminale S				

Fonction présente dans les programmes de cette classe 

La variété des rôles donnés à l'évolution par les programmes amène Orange à conclure que le concept d'évolution joue pleinement son rôle scientifique qu'à partir de la classe de troisième (*ibid.*, p. 42). Ce qui apparaît dans cette analyse, c'est qu'en dehors de la classe de troisième et de terminale, l'évolution n'est jamais présentée comme un « *fait de la pensée* », pour reprendre la formulation de Lecourt. L'évolution marche essentiellement sur un pied : celui du fait. Comme le précise Fortin (2009a), les programmes consistent essentiellement à montrer l'évolution, à montrer que l'accumulation des données issues de la paléontologie, de l'anatomie comparée, de l'embryologie et de la génétique implique nécessairement un lien de parenté entre les êtres vivants. Or, comme elle le précise, « *la comparaison des données n'a de sens que si elle est explicitement rattachée à la théorie de l'évolution* » (*ibid.*, p. 23). De la même façon, l'introduction de la nouvelle classification scientifique dans les classes du primaire et du secondaire, indépendamment d'un cadre évolutionniste peut poser des problèmes didactiques (Orange-Ravachol & Ribaud, 2006). Dans le même ordre d'idée, le concept de sélection naturelle, qui permet d'articuler les innovations génétiques à un milieu donné, est uniquement abordé en classe de terminale S (il l'est en classe de 3^e depuis la rentrée 2008). Rumelhard (2007) attribue l'absence de ce concept, dans les programmes, à « *une horreur du finalisme et au refus de tout concept abstrait qui ne se réfère pas à un support matériel et expérimental* » (2007, p. 520).

Ainsi, quand le cadre évolutionniste joue le rôle de paradigme explicatif, c'est toujours sans le dire³⁸. Cela ne pose aucune difficulté aux enseignants qui

³⁸ « *Les traces de l'évolution se retrouvent aujourd'hui dans chacun de nos cellules, dans chacune de nos molécules. Il est devenu virtuellement impossible à présent d'expliquer l'énorme quantité de*

travaillent à l'intérieur de ce paradigme, mais qu'en est-il pour les raisonnements conduits par les élèves ? Comment peuvent-ils s'approprier ce cadre et construire des concepts scientifiques à l'intérieur de ce cadre explicatif ? Bref comment peuvent-ils, à la fois, construire le concept d'évolution et d'autres concepts, comme celui d'ancêtre commun, dans un registre explicatif évolutionniste ? L'analyse de l'activité de problématisation d'élèves sur ces questions, dans des situations différentes, devrait nous permettre d'apporter des éléments de réponse.

2. L'évolution en classe de première ES

2.1. Le dispositif d'enseignement-apprentissage

Le dispositif a été mis en œuvre dans une classe de première ES³⁹ du collège et lycée expérimental d'Hérouville-Saint-Clair, par Julie Gobert, professeure de SVT, impliquée dans un groupe de formation-action (GFA) à l'IUFM de Basse-Normandie. Julie Gobert est également engagée dans un Master 2 de sciences de l'éducation à l'université de Caen-Basse-Normandie. Le recueil de donnée fait partie des données recueillies dans le cadre du GFA *Problématisation et apprentissage en SVT* dont nous avons assuré la responsabilité scientifique.

2.1.1. Premier temps de travail : la situation d'évaluation diagnostique

La situation d'évaluation diagnostique est la suivante : les élèves doivent produire individuellement un texte qui doit indiquer :

- les causes de l'évolution des espèces vivantes ;
- comment expliquer que les espèces actuelles ne sont plus celles d'hier.

Pour cela, les élèves doivent donner les explications de ce qui peut arriver, à l'échelle d'un individu et à l'échelle d'une population d'individus d'une même espèce (c'est-à-dire au niveau de l'espèce).

Dans cette situation, les élèves vont pouvoir s'engager dans la production d'une explication à partir de leurs connaissances sur les mécanismes de la transmission de l'information génétique d'une génération à l'autre (3^e) et de quelques « faits » d'évolution (4^e, seconde). Les autres éléments de la consigne ont un statut de

³⁹ Le programme de la classe de première ES est présenté en annexe 4 (France : MÉN, 2000). Il pointe certaines difficultés liées aux conceptions communes de l'évolution qui doivent être travaillées par les élèves : l'explication finaliste de l'apparition d'un caractère (la bipédie dans la lignée humaine) ; la causalité de l'environnement sur l'apparition d'une innovation génétique. Ils précisent les niveaux de formulation des savoirs attendus. Cependant le concept de population n'est pas envisagé dans le programme.

contraintes de situation⁴⁰ qui peuvent orienter (ou non) la réflexion des élèves. L'énoncé précise qu'ils doivent expliquer que certaines espèces ont disparu et que certaines sont apparues. Enfin, l'énoncé introduit deux niveaux de réflexion : l'individu et l'espèce. Il sera intéressant de suivre la façon dont les élèves mobilisent (ou non) ces contraintes de situation dans leurs problématisations.

Les productions individuelles obtenues sont présentées en annexe 5.

2.1.2. Deuxième temps de travail : une production écrite collective

L'enseignante organise un travail de groupe à partir d'une analyse des productions individuelles des élèves. Les élèves ayant produit des explications proches sont regroupés. Le tableau 5-2 présente les groupes constitués.

Tableau 5-2. La constitution des groupes d'élèves de première ES

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3 :	Groupe 4 :
Lara, Léo, Romain, Quentin	Hugo, Aurore, Gwendoline, Raphaël	Louise, Lucille, Jonathan	Camille, Géraldine, Alexandre

Après avoir présenté sa production personnelle aux autres membres du groupe, les élèves doivent produire en commun une explication qui répond à la même question que celle de l'évaluation diagnostique. Les productions des quatre groupes sont présentées annexe 6. Elles serviront de support au débat scientifique.

2.1.3. Troisième temps de travail : le débat scientifique

Le débat scientifique qui a suivi le travail de groupe a été conduit par Julie Gobert. Il avait simplement l'ambition de permettre la présentation des explications des différents groupes d'élèves. Le débat a été filmé puis retranscrit. C'est à partir de ce script, de 110 interventions, que nous allons tenter de comprendre le processus de construction des

⁴⁰ Nous distinguons les contraintes de situation, celles qui sont portées par l'énoncé, des contraintes empiriques ou théoriques qui sont construites au cours de l'activité de problématisation.

explications pour rendre compte des mécanismes de l'évolution des espèces. Le script est présenté annexe 7.

Nous allons mettre en œuvre la méthodologie décrite dans le chapitre 3 pour suivre le processus de problématisation.

2.2. Analyse du processus de problématisation

2.2.1. Analyse macroscopique du débat

2.2.1.1. Une première analyse thématique

Contrairement au débat analysé dans la classe de troisième, le débat n'est pas organisé selon la succession présentation-explicitation des affiches, puis comparaison, mais à partir de la présentation d'une affiche (trois affiches seulement seront présentées compte tenu du temps disponible), suivie d'une discussion qui s'engage en fonction des réactions des élèves.

À partir du script du débat, nous avons identifié un certain nombre d'épisodes thématiques : trois épisodes sont discontinus. Le tableau 5-3 présente un découpage thématique du débat. Nous avons volontairement exclu un extrait du débat (30-33), extrait où le professeur réalise un bilan de ce qui a été discuté (sans que les élèves interviennent) et assure la transition vers la présentation de l'affiche suivante.

Tableau 5-3. Analyse thématique du débat sur le thème des mécanismes de l'évolution en classe de première ES

	1-10 ₁	Présentation / explicitation de l'explication du groupe 1
1	10 ₂	Intervention du facteur « temps »
2	11-21	Mécanismes permettant des modifications de l'information génétique sous l'influence de l'environnement
3	22-28	Intervention du facteur « temps »
4	29	Mécanismes permettant des modifications de l'information génétique
	34-43	Présentation / explicitation de l'explication du groupe 2
5	44-69	Raisons du maintien des nouveaux caractères apparus
6	70-90	Raisons de l'apparition des modifications génétiques
7	91-92	Reprise de la discussion 5
	96-110	Présentation / explicitation de l'explication du groupe 3

Sur les sept épisodes thématiques repérés, en dehors des moments de présentation-explicitation des explications produites par les groupes d'élèves, quatre thèmes sont abordés.

1/ L'intervention du temps dans les mécanismes de l'évolution (épisodes 1 et 3). L'épisode 1 est limité à une intervention, c'est pourquoi nous avons décidé de l'étudier avec l'épisode 3.

2/ Les mécanismes qui permettent une modification de l'information génétique sous l'influence du milieu de vie (épisodes 2 et 4). Pour la même raison qu'en 1/ nous étudierons ces deux épisodes ensemble.

3/ Les raisons du maintien de nouveaux caractères apparus, épisodes 5 et 7 étudiés ensemble.

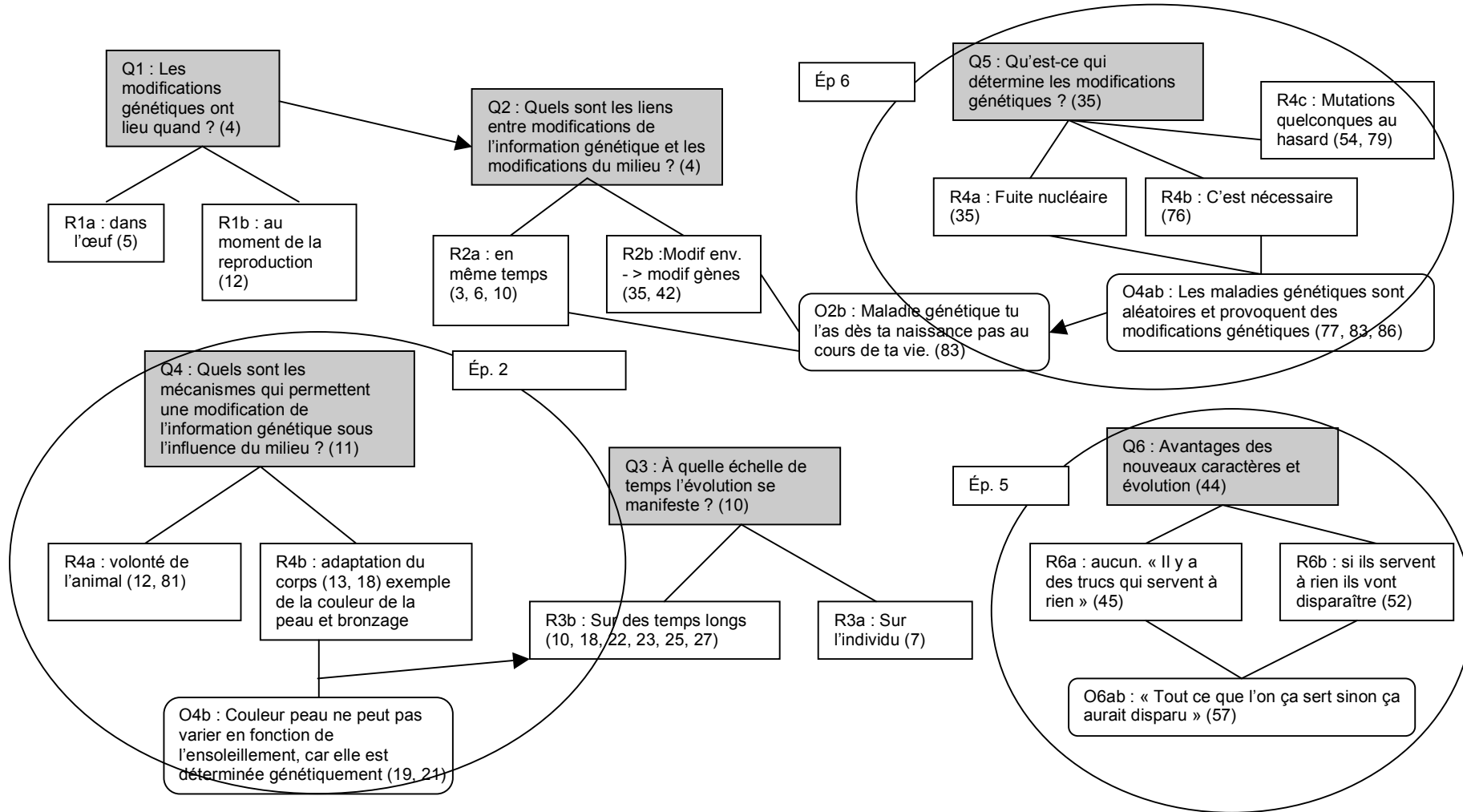
4/ Les raisons de l'apparition des modifications génétiques (épisode 6).

Pour avancer au niveau épistémologique et identifier les questions en jeu derrière les thèmes abordés, nous allons présenter la macrostructure de ce débat.

2.2.1.2. La macrostructure du débat sur l'évolution en classe de première ES

Nous avons utilisé la méthodologie décrite au chapitre 4 (section 2.2.1.2.). La macrostructure du débat est présentée à la figure 5-7.

Figure 5-7. Macrostructure du débat sur le thème des mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES



Il est intéressant de reprendre, à propos de cette macrostructure, la catégorisation des questions présentée à la section 2.2.1.2. du chapitre 4. Dans ce débat, nous trouvons :

- des questions qui donnent lieu à plusieurs réponses qui ne sont pas contradictoires entre elles (comme dans le cas Q1 où les deux réponses R1a et R1b peuvent être considérées comme deux versions de la même réponse). De la même façon, dans le cas Q2, les réponses R2a et R2b peuvent être considérées comme deux versions différentes de la même réponse ;
- des questions qui donnent lieu à des réponses contradictoires dont une des réponses n'est pas retenue par la classe, c'est le cas de la réponse R4a proposée à deux reprises dans le débat ;
- des nœuds argumentatifs où les oppositions de thèses sont nettes. C'est le cas en Q4, Q5 et Q6 où des objections sont formulées. Notons le cas particulier du nœud Q6, l'objection pointe une contradiction entre les deux réponses R6a et R6b tout en proposant une thèse qui règle la contradiction.
- des développements à une question qui rétroagissent sur une autre question. On trouve deux occurrences de ce type de développement, autour du nœud Q4-R4b-O4b qui se lie à R3b. C'est également le cas quand le développement d'O4ab entraîne une objection à R2a et R2b

Autre caractéristique de ce débat, on trouve de nombreux exemples dans les réponses ou les objections des élèves. Nous ne l'avons pas observé dans le débat sur la nutrition en classe de 3^e.

Nous allons maintenant essayer de suivre le travail de ces différents éléments dans/par les activités langagières développées par les élèves au cours du débat.

2.2.2. Analyse épistémologico-langagière

2.2.2.1. Présentation du groupe I

Le tableau 5-4 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'explication du premier groupe d'élèves.

Tableau 5-4. La présentation du groupe I : analyse épistémologico-langagière

Lara, Léo, Romain et Quentin font partie du groupe I

1	Prof	Donc on s'interroge bien sur qu'est ce qui peut amener au cours du temps à l'apparition d'une nouvelle espèce // qu'est ce que vous pensez de leur explication / vous pouvez émettre des critiques positives ou négatives ou des questions	
2	Louise	C'est bien c'est logique	Évaluation de la production du groupe 1 sur la base du caractère logique de l'explication produite.
3	Lara	C'est par rapport à la reproduction qu'il y a des changements génétiques / au fur et à mesure que <u>les espèces</u> s'adaptent // enfin //	Ébauche d'un raisonnement pour mettre en relation trois éléments : reproduction – changements génétiques - adaptation des espèces. Le « au fur et à mesure » assure la mise en relation
4	Prof	C'est-à-dire // les changements génétiques ont lieu quand par rapport aux modifications dans le comportement // qu'est ce qui précède // est ce que ça arrive après ou avant // tu me parles de modifications <u>génétiques</u>	
5	Lara	C'est quand <u>le petit canard</u> sort de l'œuf / ça se passe à l'intérieur de l'œuf	1/ Reprise-modification de « c'est par rapport à la reproduction » -> « ça se passe à l'intérieur de l'œuf ». Mobilisation de savoirs scolaires (le reproduction concerne l'œuf) 2/ Décontextualisation d'un énoncé général / recontextualisation sur l'exemple précis de l'affiche : passage espèces -> individu : « les espèces » -> le petit canard » -> hétéroglossie
6	Jonathan	Les transformations génétiques elles se passent avec l'environnement //	Décontextualisation / recontextualisation à un énoncé général par une reprise du raisonnement de Lara en 3/ avec des modifications : - il évacue la question de la reproduction - « modification » -> « transformation » - « au fur et à mesure » -> « elles se passent avec » - « les espèces s'adaptent » -> « avec l'environnement ».
7	Jonathan	C'est lié à la disparition <u>de l'espèce le canard 1</u> disparaît au profit du canard 2 //	Ajout par extension du discours -> « c'est » : dénivellation qui reprend tout ce qui a été dit avant « disparaît au profit » peut se comprendre comme une transformation du canard 1 en canard 2 par rapport au schéma produit par les élèves. Reprise-modification « l'espèce » -> « le canard 1 » qui relève de la même hétéroglossie que celle repérée en 5 et provoque un mouvement de décontextualisation/recontextualisation
8	Prof	Donc <u>le canard 1</u> se transforme en canard 2 // pour Nathan on n'aura plus à ce moment là d'individus de l'espèce canard 1	Reformulation par l'enseignante validée par Quentin en 9
9	Quentin	Oui	
10 ₁	Louise	<u>S'ils</u> ont subi le même changement de l'environnement oui // mais si jamais eux ils n'ont pas connu la période glaciaire <u>ils vont</u> rester comme <u>un canard</u> /	Décontextualisation/recontextualisation dans un énoncé plus général (retour du pluriel : ils, eux) par une reprise de l'explication par Louise qui précise le raisonnement de Jonathan en 6-7. Même hétéroglossie que celle repérée en

Cette présentation montre que les élèves s'essayent à la construction d'un objet de discours (ce dont on parle : le canard, les espèces, l'espèce canard) adapté à la situation proposée : les glissements singuliers (l'individu ou le type) -> pluriels (une série d'individu : l'espèces ?) génèrent de l'hétéroglossie et des mouvements de décontextualisation / recontextualisation. Ils signalent une difficulté à trouver le bon niveau de formulation et les tensions qui résultent du traitement de la tâche par les élèves.

Au terme de cette présentation, il nous semble que les élèves ont mis à jour une liste d'éléments qui n'ont pas tous le même statut et ils ont tenté des premières mises en relations entre idées et faits.

1/ Les éléments sélectionnés :

- l'intervention de modifications génétiques dans la transformation de l'individu repose sur l'idée, qui semble partagée au sein de la classe, d'un lien entre les modifications génétiques et les modifications de caractères de l'individu (ils remobilisent des savoirs construits en classe de 3^e) ;
- le fait que les espèces s'adaptent aux nouvelles conditions du milieu semble également admis. C'est un fait qui n'est pas questionné (on le sait, c'est comme ça de tout temps...). Nous retrouvons un résultat déjà mis en évidence par les travaux de Lacombe (1987, p. 149)⁴¹ et de Ferrari et Chi (1998, p. 1234) : l'adaptation, c'est ce qu'il faut expliquer (« *une explication, en effet, n'est requise que si un fait est préalablement acquis* », Grize, 1996, p. 112).

2/ Les mises en relation se font sur la base de deux marqueurs :

- « *au fur et à mesure* » (Lara en 3) ;
- « *elles se passent avec* » (Jonathan en 6).

Ces marqueurs indiquent une première mise en relation entre les modifications de l'environnement et les modifications de l'information génétique pour expliquer l'adaptation du canard à de nouvelles caractéristiques du milieu. Le changement génétique intervient de façon synchrone (« *au fur et à mesure* ») avec le processus adaptatif. Par rapport à la dynamique du processus, le « *au fur et à mesure* » introduit également l'idée d'une progressivité des modifications.

Nous interprétons le « *elles se passent avec* » comme une relation de causalité où ce qui suit permet d'expliquer ce qui précède : les modifications de l'environnement

⁴¹ Lacombe a analysé ce que disent les élèves de l'adaptation. Elle note que l'évolution est un fait et également un processus que l'on peut constater, qui est nécessaire voire obligatoire (1987, p. 149).

provoquent les « *transformations génétiques* ». Notre interprétation semble confortée par l'intervention de Louise qui fait de la modification de l'environnement (A) une condition aux changements de l'information génétique (B) : « si pas A -> pas B ». Cela permet également de comprendre le développement de l'épisode 2 qui voit les élèves chercher à un mécanisme pour lier les modifications de l'environnement aux changements de l'information génétique.

2.2.2.2. L'épisode 2-4 : La recherche d'un mécanisme qui permet la prise en compte des modifications de l'environnement dans l'information génétique

Le tableau 5-5 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 2-4.

Tableau 5-5. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 2-4.

11	Prof	Vous êtes d'accord avec ce qui vient d'être dit // donc ce canard 1 se transforme en canard 2 de manière progressive et du fait des changements de l'environnement / c'est ça // alors maintenant Lara nous parlait des modifications génétiques comment elles apparaissent / quelle est votre idée là-dessus	
12	Léo	Pour moi les modifications génétiques ça se fait au moment de la reproduction / c'est pour pallier justement les problèmes au niveau du froid de l'alimentation / je pense qu'il y a peut être une petite volonté de l'animal qui fait que forcément après il y a une réaction / c'est vraiment sous la nécessité devant un climat	1/ La première partie de l'intervention « pour moi -> de l'alimentation » : reprise de la thèse de Louise en 10 ₁ « <i>c'est pour pallier</i> » qui précise, dans le même sens, que Louise : modification de l'environnement -> changement de l'information génétique. 2/ Prise en charge énonciative de la suite de l'énoncé : « je pense », « peut être » : modalisation appréciative. 3/ Mobilisation d'une analogie : volonté de l'animal -> réaction (analogie de l'apprentissage) qui permet d'argumenter en faveur de la thèse énoncée dans la première partie de l'énoncé.
13	Prof	Les modifications génétiques se réalisent parce qu'il y a un besoin une utilité une nécessité à répondre aux conditions de l'environnement / et qu'elle serait le fait de la volonté de l'individu	
14	Jonathan	C'est plus une adaptation du corps / comme nous avec l'humain // c'est un peu la même chose par rapport au bronzage ou au métissage // c'est comme quelqu'un qui vivrait dans un pays chaud / il va avoir son corps qui va peut être s'adapter // même pour le soleil et tout ça // sous le soleil il va être bronzé	Orchestration du dialogisme : 1/ « C'est plus » : modalisation appréciative qui témoigne une prise de distance par rapport à la proposition de Léo. 2/ « du corps » qui vient répondre à « volonté » 3/ Décontextualisation / recontextualisation

			par rapport à l'exemple du bronzage : « c'est un peu la même chose ». Développement de l'exemple. 4/ Prise en charge énonciative : modalisation appréciative
15	Quentin	Comme ceux qui naissent en Afrique aussi ils sont habitués au soleil	Précision de l'exemple : « <i>comme</i> » Reprise-modification : « <i>peut être s'adapter</i> » -> « <i>ils sont habitués aussi</i> »
16	Prof	Est-ce qu'il ne peut pas y avoir deux choses distinctes / le fait que si l'on a une peau blanche et qu'on s'expose au soleil on peut bronzer / est-ce la même chose qu'une personne qui naît de couleur noire // est-ce que vous mettez ces choses sur le même plan // et sinon quelles sont les différences	
17	Quentin	// Oui c'est la même chose	
18	Lara	Si il y a plusieurs générations en Afrique sous 40°C ou 50°C après des générations si ils ont la peau noire c'est parce que leur peau est plus épaisse que la notre pour se protéger du soleil et c'est pareil pour les cheveux au bout d'un certain temps / l'être humain se transforme par rapport à ces conditions / par rapport aux conditions climatiques qui l'entourent // et à la fin ça fait des petits enfants qui sont tous noirs	1/ Développement de l'exemple. Raisonnement : « <i>si ils ont</i> » -> « <i>c'est parce que</i> » -> « <i>pour</i> ». 2/ Décontextualisation par rapport à l'exemple / recontextualisation dans un énoncé plus général : « <i>l'être humain</i> », « <i>conditions climatiques</i> » 3/ Retour à l'exemple pour conclure « <i>et à la fin</i> » ; dérivellation « <i>ça</i> » : reprend tout ce qui a été dit avant. « <i>qui sont tous noirs</i> » : verbe d'état et « <i>tous</i> » qui donne une valeur de généralité au raisonnement.
19	Prof	Bon alors j'apporte une précision / la couleur de la peau n'est pas due à une épaisseur différente c'est dû au fait que dans les cellules de la peau // (Schéma au tableau + explication sur la production de mélanine)	Introduction de la distinction caractères héréditaires et caractères individuels
20	Prof	Une phrase qui peut faire réagir un couple de couleur blanche qui souhaite avoir un enfant métisse décide d'aller concevoir un enfant dans les tropiques	
21	Camille	C'est dans les gènes // c'est des gènes qu'ils transmettent à l'enfant / si les parents ont des gènes avec pas beaucoup de mélanine // bah l'enfant il en aura pas beaucoup il va peut être en avoir un peu en grandissant mais il ne sera jamais noir	Reprise de la distinction caractères héréditaires – caractères non héréditaires par Camille : « <i>c'est dans les gènes</i> » répété deux fois. Établit une relation généalogique via la transmission de caractères : « <i>si les parents en ont pas</i> » -> « <i>l'enfant en aura pas</i> ». <i>Orchestration du dialogisme</i> « <i>un peu</i> » : stratégie de minimalisation « <i>jamais</i> » : objection à la thèse formulée par Lara.
29	Aurore	Ça dépend aussi des parents du couple blanc parce que s'ils ont des ancêtres noirs ils peuvent aussi avoir un enfant noir même s'ils sont tous les 2 blancs	<i>Orchestration du dialogisme</i> « <i>ça dépend aussi</i> » Tentative de renverser l'argumentation de Camille en se plaçant dans un cadre génétique : appel à l'atavisme

Léo (en 12) et Jonathan (en 14) proposent des mécanismes liant les changements de l'environnement aux modifications génétiques.

1/ Léo (en 12) s'appuie sur une analogie⁴² avec les mécanismes de l'apprentissage. L'organisme pourrait prendre en compte une modification environnementale pour produire une réaction comportementale adaptée. Il propose la modification du phore suivante : la modification comportementale de l'organisme devient la modification de l'information génétique de l'organisme. Notons que cette analogie a principalement une fonction argumentative, en venant appuyer la possibilité d'une adaptation de l'organisme face à des modifications du milieu, mais elle laisse dans l'ombre la question du mécanisme lui-même. Cela diminue la portée de l'analogie puisque c'est justement la question du mécanisme que l'on cherche à expliquer⁴³.

Cette analogie est classique dans la façon de comprendre les mécanismes évolutifs (Calafate, 1986, p. 87). Jacob précise d'ailleurs que « *le besoin de calquer les processus biologiques sur les processus mentaux des êtres humains* » pourrait expliquer la « *tendance irrésistible à croire en une théorie instructive ou lamarckienne de l'hérédité et de l'évolution* » (Jacob, 1981/1983, p. 34). On retrouve cette analogie plus loin dans le débat, au moment de la présentation du deuxième groupe, en 81, par Gwendoline : « *Y peut pas y'avoir des chocs émotionnels des trucs graves et sur le cerveau ça peut provoquer des choses et après c'est sur notre organisme* ».

Dans les deux cas (en 12 et 81), l'analogie est aussitôt rejetée par les autres élèves. Les interventions qui suivent les propositions de Léo et de Gwendoline commencent par une prise de position contre leur énoncé (« *c'est plus* » ; « *oui mais* »). Les élèves argumentent contre cette analogie au prétexte que l'apprentissage fait intervenir le système nerveux (et principalement le cerveau et cela de façon plus ou moins consciente), alors que dans le cas de l'évolution tout l'organisme qui est concerné et la volonté n'est pas convoquée : Jonathan (en 14) : « *c'est plus une adaptation du corps* » et Raphaël (en 82) : « *Ouais mais c'est pas le corps humain // c'est quelque chose d'autre* ».

2/ Comme nous venons de l'indiquer, Jonathan précise, dans l'intervention qui suit la proposition de Léo (en 14), que « *c'est plus une adaptation du corps* ». L'utilisation d'une modalisation appréciative⁴⁴ « *c'est plus* », qui équivaut à « *c'est plus*

⁴² L'analogie consiste « *à assimiler un objet problématique, à propos duquel le sujet-locuteur entreprend de construire un certain savoir ou une certaine représentation, à un objet plus familier ou mieux connu de l'interlocuteur* » (Apothéloz, 1984, p. 64).

⁴³ Comme le précise Perelman : « *Toute analogie met certains rapports en évidence et laisse d'autres caractères dans l'ombre* » (2002, p. 150).

⁴⁴ Grize définit la modalité appréciative comme « *l'expression d'un jugement de valeur que le locuteur porte sur ce qu'il affirme* » (1992, p. 47). Parmi ces modalités appréciatives, il distingue les modalités aléthiques qui portent sur les valeurs de vérité des énoncés produites (nécessaire, possible, impossible, non nécessaire...) et les modalités épistémiques qui portent sur le rapport à la connaissance des énoncés (vérifié, falsifié, non décidé...).

vraisemblable », permet à Jonathan de se démarquer de la proposition de Léo. Jonathan refuse ainsi de prendre en charge l'énoncé de Léo. Ce faisant, il le met en doute, ce qui déclenche l'activité argumentative. Dans le même temps, il fait une proposition alternative à celle de Léo. Pour étayer sa proposition, il s'appuie sur la possible variation de certains caractères de l'organisme en fonction des conditions de vie, en s'appuyant sur l'exemple du bronzage en réponse à une exposition répétée au soleil.

Dans l'intervention qui suit celle de Jonathan, Quentin (15) poursuit le raisonnement au niveau des caractères d'un individu : « *Comme ceux qui naissent en Afrique aussi ils sont habitués au soleil* ». Le couplage entre adaptation et un raisonnement au niveau des caractères de l'individu conduit les élèves à mobiliser un modèle transformiste de l'évolution biologique, sur le modèle lamarckien, où les « *influences [de l'environnement] déterminent progressivement la transformation des "facultés des organismes" qui lentement se fortifient, se diversifient* » (Gagliardi, 1987, p. 243), sans toutefois mobiliser l'idée d'une tendance des êtres vivants à complexifier leur organisation. Or, la tendance à la complexification est un des deux piliers de la conception de Lamarck (Pichot, 1993)⁴⁵.

La non-distinction entre les caractères héréditaires transmissibles à la génération suivante (comme la couleur de la peau) et les caractères individuels qui caractérisent un individu mais qui ne sont pas transmissibles à la descendance (comme le bronzage) contribue également à renforcer ce mode de raisonnement.

3/ L'enseignante tente, à plusieurs reprises (en 19 et 20), d'introduire la distinction entre caractères héréditaires et caractères individuels. L'intervention de Camille en 21 semble montrer qu'elle reprend à son compte la distinction, caractères héréditaires – caractères non héréditaires, introduite par l'enseignante comme objection à la proposition de Jonathan.

Camille développe l'objection de l'enseignante : en fonction du patrimoine génétique des parents et du lieu de vie de l'enfant (sous les tropiques), celui-ci pourra avoir une pigmentation cutanée plus ou moins importante, mais « *il ne sera jamais noir* ». C'est une objection à la thèse développée par Jonathan. Cette opposition de thèses correspond au nœud argumentatif Q4 - R4a – R4b – O4b (figure 5.7.).

⁴⁵ « Pour Lamarck, la transformation des espèces résulte d'un double processus. Le premier est une tendance des êtres vivants à complexifier leur organisation. Cette tendance devrait se dérouler de manière linéaire, produisant une série continue d'êtres vivants de plus en plus complexes, si elle ne se heurtait à ce que Lamarck appelle la diversité et la variation des circonstances, c'est-à-dire la diversité et la variation de l'environnement. Ce "heur" constitue le deuxième moment du processus évolutif » (Pichot, 1993, p. 605).

2.2.2.3. L'épisode 3-1 : La nécessité d'un temps long

Le tableau 5-6 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 3-1.

Tableau 5-6. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 3-1.

10 ₂	Louise	Là à mon avis entre canard 1 et canard 2 il y a plein d'autres canards avant d'arriver justement au canard 2 // tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça / ça se fait petit à petit // enfin // il y a plusieurs générations avant d'arriver à un canard qui va se modifier	1/ Prise en charge énonciative : « à mon avis » 2/ Orchestration du dialogisme : « tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça » 3/ Argument avancé : « ça se fait petit à petit » 4/ « Enfin » : dénivellation
-----------------	--------	---	---

L'impossibilité d'une transformation rapide (« tu ne peux pas... mettre un canard qui est comme ça ») commence à construire la nécessité d'un temps long. Le « enfin » marque une dénivellation qui permet le détachement de la conclusion « il y a plusieurs générations avant d'arriver à un canard qui va se modifier ». Les autres éléments de la proposition constituent les prémisses du raisonnement qui restent incomplètes⁴⁶.

22	Raphaël	Ça ne se joue pas au bout de qu'une génération / c'est trop rapide // s'ils vont sous les tropiques juste le temps de faire leur petit //	1/ Le « ça » reprend l'objection de Camille formulée en 21 : « si les parents ont des gènes avec pas beaucoup de mélanine // bah l'enfant il en aura pas beaucoup il va peut être en avoir un peu en grandissant mais il ne sera jamais noir ». 2/ « pas que » « c'est trop rapide » reformule l'objection de Camille dans le cadre d'un temps long. 3/ Le temps long permet d'introduire une série des individus dans le temps (la dimension verticale de la figure 5.4.)
23	Louise	À la limite s'ils seraient nés là-bas sous les tropiques ils auraient quand même eu par rapport à leur // à leur code génétique ils se seraient aussi adaptés au soleil / si ça fait très longtemps qu'ils vivent sous les tropiques leur enfant aura peut être des caractéristiques un peu plus évoluées //	1/ « si ça fait très longtemps » : prise en compte du temps long pour expliquer « les caractéristiques plus évoluées ». Cet énoncé est un peu dissonant par rapport à 22 qui se place dans le cadre de plusieurs générations. Ici on revient à l'échelle de la vie d'un individu. 2/ Prise en charge énonciative : modalisation appréciative « peut-être »
24	Prof	Est-ce que c'est à l'échelle d'une vie humaine	Pointe la dissonance entre l'énoncé de Raphaël et celui de Louise.
25	Nathan	Parce qu'en fait il faut qu'il y ait déjà // ça marche sur des générations et pas seulement sur 2 ou 3 / ça marche sur des centaines voire des milliers	1/ « ça » : reprise des modifications génétiques adaptatives 2/ Processus d'accentuation : « sur des génération » -> « et pas seulement 2 ou 3 » -> « sur des milliers ». Ce processus d'accentuation permet de gérer le dialogisme. C'est bien de séries dans le temps long dont il s'agit. Les modifications génétiques adaptatives ne jouent pas sur le temps d'une vie humaine.
26	Prof	Est-ce que vous pouvez seulement raisonner à l'échelle de 2 individus	Cette critique porte sur la dimension horizontale (série dans l'espace du

⁴⁶ Ce qui est généralement le cas dans les raisonnements oraux sur un tour de parole puisque ces raisonnements se font, la plupart du temps à plusieurs.

			schéma 5-4) par rapport à l'idée de population.
27	Nathan	Non c'est pour ça par exemple que pour les insectes / on sait qu'ils peuvent évoluer très vite // parce que le taux de renouvellement est / sur une vie humaine / ça doit être plusieurs millions // donc on peut voir // xxx c'est pour ça que ça marche	1/ Décontextualisation / recontextualisation sur l'exemple des Insectes où la génération est plus courte par rapport à celle de l'homme, ce qui permet de voir une évolution sur un temps relatif à l'homme. Sur cet exemple, il est peut être plus facile d'envisager la série des individus dans l'espace (dimension horizontale). 2/ Accentuation : « plusieurs millions » 3/ « ça » : dénivellation qui reprend le mécanisme de modifications génétiques adaptatives qui marchent à cause de ce temps très très long (accentuation).
28	Prof	Vous avez entendu	

Le temps long va devenir une nécessité sur les modèles à travers un raisonnement par le contraire. Une évolution/transformation d'un individu sur une génération n'est pas possible. Il faut nécessairement faire appel au temps long pour que cette transformation soit possible (interventions 22, 23, 25, 27). Il s'agit d'un temps long à l'échelle de plusieurs générations (processus d'accentuation en 25, 27) et plus seulement à l'échelle d'une vie humaine⁴⁷. Le temps long introduit l'idée que les mécanismes de l'évolution concernent une série d'individus dans le temps (dimension verticale du schéma de la figure 5.4.). La nécessité d'un temps long vient résoudre toute difficulté liée à la prise en compte des contraintes génétiques par exemple. Tout devient possible du moment que cela s'exerce sur un temps long.

2.2.2.4. Discussion intermédiaire : l'état de la discussion avant la présentation de l'explication du groupe 2

1/ La structure de l'explication proposée par les élèves.

Comme nous l'avons indiquée, l'adaptation des individus à leur environnement est un fait qui n'est jamais discuté. L'explication proposée par les élèves a la structure suivante :

- état initial : les espèces sont adaptées à leur milieu de vie ;
- perturbation de l'équilibre initial : modification de l'environnement ;
- face à cette perturbation, les individus sont contraints d'incorporer, de façon adaptative, les modifications de l'environnement dans leur patrimoine génétique. Cette modification mène à l'apparition de nouveaux caractères ;
- les nouveaux caractères permettent à l'individu de retrouver un état final où il est de nouveau adapté à son milieu de vie.

⁴⁷ Comme le précisent Orange et Orange-Ravachol, « si le temps est nécessaire, c'est juste pour donner un peu d'ampleur à la transformation » (2004, p. 31).

La structure de cette explication, état initial -> perturbation -> transformation -> état final, rappelle l'organisation classique d'une histoire. En effet, Fayol rappelle que « *le narré renvoie toujours au passage d'un état initial à un autre état final par le biais d'une transformation* » (1985, p. 11). De plus, comme dans les histoires, « *le déroulement des faits s'étale dans le temps* » (*ibid.*), ici dans un temps long.

Il nous semble que cette structure est due en partie au non-questionnement du fait d'adaptation considéré comme étant dans l'ordre des choses. Comme le précise Bruner, une histoire commence toujours « *par considérer une situation de départ comme allant de soi (...): l'état des choses y est ordinaire, normal* » (2002/2005, p. 18). L'histoire commence quand « *apparaît une brèche dans l'ordre des choses* » (*ibid.*, p. 29). Ici c'est la modification de l'environnement qui provoque une désadaptation des individus à leur milieu de vie. C'est bien parce que « *les histoires nous procurent des modèles du monde* » (*ibid.*, p. 38) qu'il n'est pas surprenant que les élèves mobilisent une telle structure pour s'engager dans l'explication d'un phénomène qu'ils ne connaissent pas⁴⁸. De plus, l'avantage de l'emploi d'une telle structure, c'est qu'elle est facile à reconstituer par les autres élèves⁴⁹ puisque c'est une structure qui caractérise la psychologie populaire (Bruner, 1990/1991). Viennot rappelle également « *la satisfaction engendrée par ce type d'explication chez ceux qui la reçoivent* » (1993, p. 21). Cette structure constitue un genre, en dépôt dans la culture partagée, qui permet aux élèves de se lancer dans la construction d'une explication : « *la construction nous donne le moyen de "construire" un monde, de caractériser son mouvement, de segmenter les évènements qui s'y déroulent, etc.* » (Bruner, 1990/1991, p. 69).

Cette structure nous permet d'explicitier le problème auquel s'attaquent les élèves du premier groupe : le problème provient de la tension qui naît entre plusieurs contraintes : comme les individus sont adaptés à leur milieu de vie, une modification des conditions du milieu vient rompre cet état d'équilibre. C'est cette rupture de l'équilibre de départ qui fait problème. Les élèves veulent alors expliquer le retour à un état d'équilibre en tenant compte du lien entre l'information génétique et les caractères exprimés par l'individu.

2/ La construction de la nécessité d'un temps long.

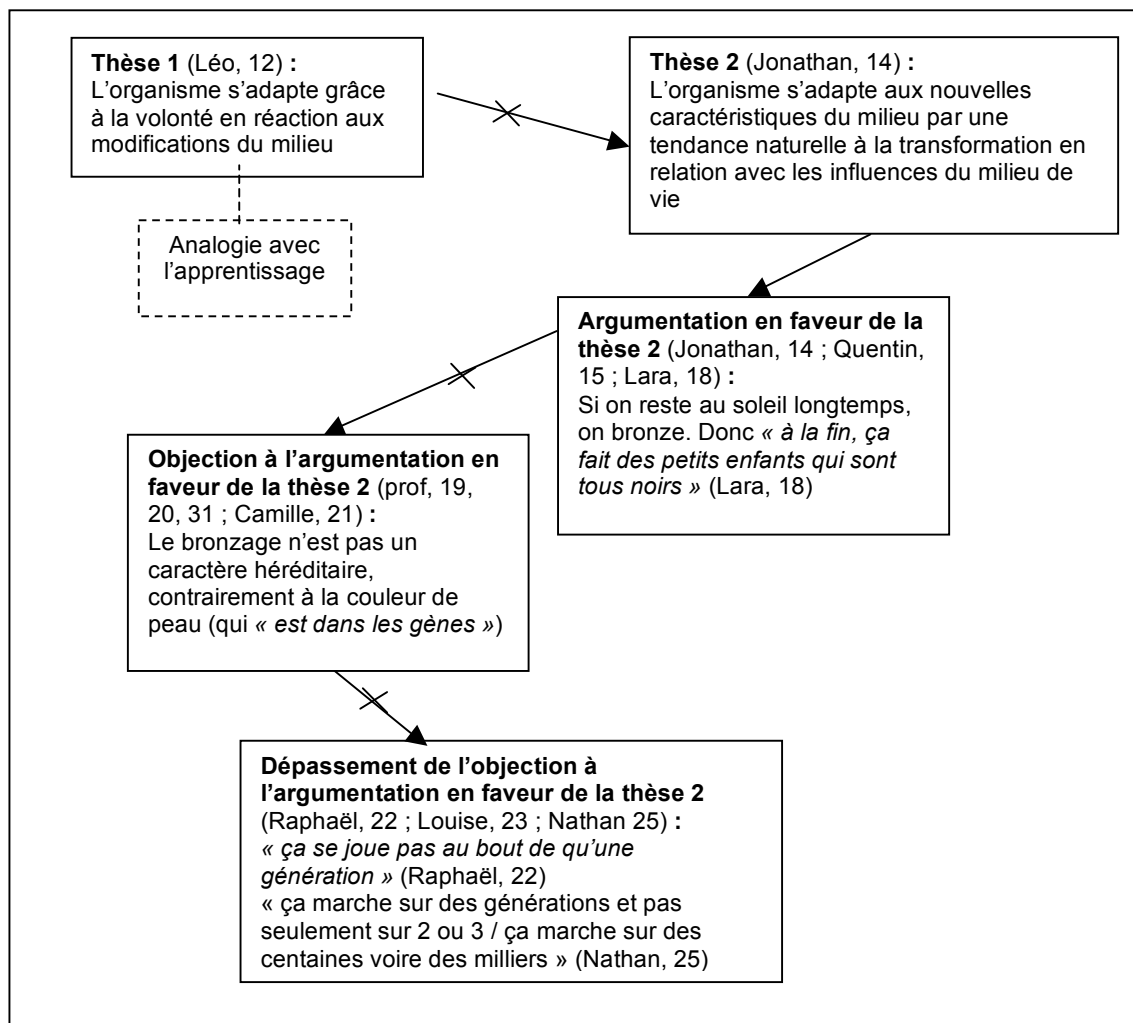
Nous avons indiqué, lors de l'étude de la macrostructure du débat, que le nœud problématique Q4a/R4a/R4b/O4b rétroagit sur la question de l'échelle de temps sur

⁴⁸ Les travaux de Viennot (1993, 2003, 2006) et Closset (1983, 1992) dans différents champs de la physique montrent une certaine régularité des élèves à employer des raisonnements avec une structure narrative.

⁴⁹ « *Les histoires sont ainsi des instruments particulièrement adaptés à la négociation sociale* » (Bruner, 1990/1991, p. 68).

laquelle se manifestent les mécanismes de l'évolution (Q3). Nos analyses montrent le lien entre la construction de la nécessité d'un temps long et l'objection portée par Camille (à la suite de l'enseignante) à la thèse des modifications génétiques adaptatives. Afin de comprendre le processus qui a permis de construire la nécessité d'un temps long, nous allons présenter la structure argumentative qui correspond aux épisodes 1-4. Elle est présentée dans la figure 5-8.

Figure 5-8. Structure argumentative de l'épisode 1-4



Plusieurs remarques à propos de cet épisode argumentatif peuvent être faites.

La question argumentative, en œuvre dans cet épisode, concerne le choix d'un mécanisme pour incorporer les influences de l'environnement dans l'information génétique d'un organisme. Cette question argumentative qui n'a pas de pertinence dans le cadre biologique actuel (notamment au niveau génétique) peut en avoir dans un autre, notamment dans un cadre épistémique de type transformiste.

De ce point de vue, il est intéressant de comprendre comment fonctionne l'intervention de l'enseignante en 19-20. Elle introduit des distinctions issues des savoirs génétiques actuels qui n'ont pas de sens dans le cadre épistémologique dans lequel se déroule cet épisode. Alors que l'objection formulée devrait conduire à invalider la thèse proposée par Jonathan, il nous semble qu'elle contribue, au contraire, à donner un certain crédit à la question en débat. L'objection formulée ne remonte pas jusqu'à la thèse, mais porte localement, sur l'exemple choisi par Jonathan. Ainsi, comme la question semble « validée » par l'enseignante, les élèves poursuivent la recherche argumentative. Cette discussion sur la façon dont certains savoirs (ceux portés par l'objection de l'enseignante) s'articulent avec l'état de connaissance des élèves est intéressante d'un point de vue didactique.

La suite de l'argumentation conduit les élèves à faire appel à la notion de temps pour aménager leur modèle explicatif. Le temps long devient un facteur d'explication nécessaire puisqu'il pallie l'objection formulée par l'enseignante et par Camille.

L'état de la problématisation à la fin de cette séquence. Les élèves se sont engagés dans la construction d'une explication à partir de l'identification d'un fait à expliquer (les espèces s'adaptent aux nouvelles conditions du milieu) à partir de l'idée que des modifications génétiques sont impliquées dans la transformation de l'individu. Cependant une seule nécessité a été construite, comment pouvons-nous l'expliquer ?

Pour établir cette relation, ils mobilisent un mécanisme, celui des modifications génétiques adaptatives. Nos analyses épistémologico-langagières montrent que les arguments sur lesquels les élèves s'appuient, pour justifier le mécanisme des modifications génétiques adaptatives, sont des arguments par l'exemple ou par illustration, pour reprendre la distinction de Perelman (2002, p. 135-143)⁵⁰. Cette stratégie argumentative traduit un nombre important de mouvements de décontextualisation / recontextualisation rappelés dans le tableau 5-7.

⁵⁰ « Alors que l'argumentation par l'exemple sert à fonder soit une prévision soit une règle, le cas particulier joue un tout autre rôle quand la règle est admise : il sert essentiellement à l'illustrer, c'est-à-dire à lui donner une certaine présence dans la conscience » (Perelman, 2002, p. 137).

Tableau 5-7. Les mouvements de décontextualisation – recontextualisation dans la première séquence

2 - Lara	Formulation générale	
3 – Question de l'enseignante	Reste au niveau général	
5 - Lara	Décontextualisation / discours général et recontextualisation au niveau du cas présenté sur l'affiche (le canard)	Localisation-moment où ont lieu les modifications génétiques
6 - Jonathan	Décontextualisation / cas étudié et recontextualisation au niveau du discours général	Lien modification environnement -> transformations génétiques
7 - Jonathan	Décontextualisation / discours général et recontextualisation sur le cas présenté	Transformation d'une espèce/individu qui en devient une autre
7->10	On en reste au cas du canard	Modification environnement -> transformation génétique Temps long
12 Léo	Décontextualisation / cas étudié et recontextualisation au niveau du discours général	Analogie avec l'apprentissage
14->25	Décontextualisation / discours général et recontextualisation sur le cas humain	Mécanisme d'intégration des modifications de l'environnement dans l'information génétique Nécessité temps long
27 Nathan	Décontextualisation / cas humain et recontextualisation sur l'exemple des insectes	Nécessité temps long
29 -> 31	Décontextualisation / exemple des insectes et recontextualisation sur le cas de l'homme	

Nos analyses pointent la difficulté rencontrée par les élèves pour construire l'objet de discours désignant « *qui* » est impliqué dans le processus d'évolution. Cela se manifeste, lors de la présentation du premier groupe, par une hétéroglossie dans les énoncés des élèves qui peuvent utiliser, dans la même phrase, le pluriel et le singulier pour désigner qui est concerné par l'évolution (Lara en 3 « *les espèces* s'adaptent », en 5 « *le petit canard* » ; Jonathan en 7 « c'est lié à la disparition de *l'espèce / le canard 1* disparaît » ; Louise en 10₁ « *ils vont* rester comme *un canard* »). Le tableau 5-7 indique le même type de mouvement lorsque l'on passe du « canard » aux « insectes » (comme il est plus facile pour un élève de s'identifier à un canard qu'à un insecte, dans ce dernier cas, l'idée de population pourrait être plus facilement présente). Il nous semble que, dans cet épisode, à travers les mouvements épistémologico-langagiers repérés, le concept d'espèce est mis au travail. Les élèves rencontrent des difficultés pour articuler les dimensions horizontales et verticales nécessaires à la construction du concept d'espèce. Dans la présentation du premier groupe, il y a de nombreux glissements singuliers/pluriels. Dans les épisodes 2-4 et 1-3, les élèves raisonnent à l'échelle d'un individu inscrit dans une généalogie, ce qui permet aux élèves de prendre en compte une série d'individus dans le temps. La construction de la nécessité d'un temps long leur permet d'envisager la série d'individus dans le temps. La dernière intervention, celle de Nathan avec l'exemple des insectes, pourrait permettre de commencer à lier les séries dans le temps, dont il est question jusque-là, aux séries dans l'espace (la population)

mais son intervention n'est pas travaillée. Les élèves n'arrivent jamais à intégrer ces deux séries (ce qui nécessite de se situer, pour reprendre notre figure, dans un plan et pas seulement sur des lignes), or la pensée évolutionniste suppose de penser dans le plan. Cela peut expliquer les difficultés rencontrées par les élèves pour avancer dans la problématisation sur ce thème. Nous pensons qu'ils n'ont pas les outils conceptuels biologiques pour penser en termes d'espèces (leurs connaissances en génétique ne relèvent pas de la génétique des populations, par exemple).

De plus, comme les exemples sur lesquels ils s'appuient relèvent des savoirs quotidiens disponibles et sont *ad hoc* par rapport à ce qu'ils veulent expliquer, la construction de l'explication s'accompagne d'une activité de problématisation réduite. Seule la nécessité d'un temps long est établie au terme de cette séquence, même si elle repose sur des fondements douteux puisqu'elle est construite pour venir s'opposer à des contraintes génétiques et permettre une « transformation facile » qui constitue un obstacle⁵¹. Nous sommes dans une situation analogue à celle rencontrée dans l'étude de cas sur la nutrition où une nécessité pertinente d'un point de vue épistémologique s'appuie sur des fondements qui ne le sont pas et qui pourraient constituer des obstacles dans le travail d'un autre problème.

D'un point de vue didactique, il nous semble intéressant de constater que le fort degré d'ouverture de la situation proposée aux élèves, les conduit à construire un monde possible peuplé d'un ensemble hétéroclite de cas qui :

- viennent appuyer certains raisonnements ;
- permettent de réaliser des inférences pour progresser dans la construction de l'explication.

2.2.2.5. Présentation du groupe 2

Le tableau 5-8 présente l'analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 2.

⁵¹ Orange et Orange-Ravachol précisent que l'obstacle de la transformation facile est le double symétrique de l'état stable (2004, p. 31).

Tableau 5-8. Analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 2
Aurore, Hugo, Gwendoline et Raphaël font partie du groupe 2.

34	Prof	Vous pouvez nous présenter votre scénario qui porte sur l'apparition d'une nouvelle espèce de grenouilles cornues	
35	Raphaël	D'abord des grenouilles de bases suite à une fuite nucléaire on a modification du code génétique de la grenouille / et je pense que ça peut aussi être fait par autre chose qui la fuite nucléaire ça c'est à déterminer // et donc après apparition de grenouilles cornues parce que mutation de gènes // euh si l'espèce survie et peut se reproduire et tout ça donne une apparition de grenouilles cornues partout // ce qui est important à mon avis pour que l'espèce continue à survivre c'est la survie / faut qu'elle puisse continuer à se reproduire	<p>1/ « Suite à » prend une connotation causale compte tenu de l'ordre des énoncés. La fuite nucléaire est la cause efficiente de la modification du code génétique de la grenouille.</p> <p>2/ Prise en charge énonciative par rapport à « je » et au verbe « penser » modifie le statut de ce qui était dit jusqu'ici : on passe d'un discours théorique à un discours interactif (Bronckart, 1996, p. 156). Cette modification du statut du texte permet à Raphaël d'orchestrer l'hétéroglossie : Raphaël prend en compte, par avance, une critique qui pourrait être formulée sur l'unicité de la raison qui « ça » qui reprend « ce qui provoque une modification du code génétique » « ça » : les autres raisons possibles sont à rechercher</p> <p>Cette intervention de Raphaël traduit un certain doute qui va permettre le développement de l'épisode 6.</p> <p>3/ Par contre, pas de contestation du lien entre caractères et information génétique : une modification du code génétique entraîne des modifications de caractère. « si l'espèce survit... » inscription dans un contexte signalé comme hypothétique.</p> <p>4/ <i>mutation de gène</i> : reprise-modification par anaphore lexicale qui traduit un changement de monde. Volonté de s'inscrire dans le champ scientifique.</p> <p>5/ « parce que mutation de gène » : présentée comme cause efficiente de l'apparition des grenouilles cornues</p> <p>6/ Et – difficile à interpréter : « et » commutatif ou « et » à connotation causale : deux conditions nécessaires ordonnées dans le temps ?</p> <p>7/ Modalisation appréciative « ce qui est important » + prise en charge énonciative « à mon avis » qui indique une prise de position par rapport à la proposition du groupe qu'il vient de présenter. Cette mise à distance va permettre le développement de l'épisode 5.</p> <p>8/ Reformulation de « si l'espèce survit et peut se reproduire et tout » en « c'est la</p>

			<i>survie // faut qu'elle puisse continuer à se reproduire</i> » qui conduit à une explicitation du lien entre « <i>survit</i> » et « <i>peut se reproduire</i> ». La survie c'est la capacité à se reproduire. Reprise-modification + modalisation logique « <i>il faut</i> » et nécessité
36	Prof	Est-ce que le fait d'avoir des cornes l'aide à survivre dans votre imaginaire	La question de l'enseignante ouvre la recherche sur les avantages conférés par les cornes en termes de survie. Il y a une dissonance ici sur le terme de survie compris par l'enseignante indépendamment de la reproduction, qui évacue la reformulation présentée en 35.
37	Raphaël	Ben plus que si elle n'avait pas de cornes / je pense ouai //	1/ Prise en charge énonciative : « <i>je pense ouai</i> »
38		Rire général	
39	Raphaël	Ne serait-ce que pour se défendre être cornu c'est quand même bien	Raisonnement analogique non explicité : recherche, par rapport à ce que l'on connaît de la fonction possible des cornes et on le déplace sur l'escargot. Ce raisonnement oriente vers la question de l'utilité intrinsèque des caractères apparus en dehors de la question de la possibilité de reproduction ou de concurrence entre espèces (il n'envisage pas forcément de concurrence par rapport à un milieu, ni avec d'autres individus).
40		Rires	
41	Prof	Est-ce que ça aurait pu être possible de voir apparaître des grenouilles cornues	
42	Camille	Il suffit qu'il y ait une modification dans son environnement qui fait que les gènes se modifient et qu'il y ait des cornes qui apparaissent / mais faut que ce soit un événement spécial dans son environnement qui change et qui la force à s'adapter et l'adaptation se serait d'avoir des cornes	Déplacement « <i>il suffit que...</i> » / mais faut événement spécial ». Cela permet une reprise d'une partie de la thèse développée par le groupe 1 : une relation causale entre le changement environnemental et les modifications génétiques. La place de l'adaptation est différente par rapport à l'explication du groupe 1 : ici cela semble être le résultat du processus et pas ce que l'on cherche à expliquer.
43	Raphaël	Mais là on a mis des cornes mais on aurait pu mettre un cheval à trois yeux	Insiste sur l'idée que c'est un expérience de pensée et pas le développement d'un cas concret.

Contrairement au premier groupe, comme en témoigne l'intervention de Camille (en 42), le deuxième groupe ne considère pas le « fait adaptatif » comme étant ce qu'il y a à expliquer, mais plutôt comme une conséquence des processus qu'ils vont tenter de décrire. Par contre, comme pour le premier groupe, le lien de causalité entre modification de l'information génétique et l'apparition de nouveaux caractères n'est pas remis en cause.

L'intervention de Raphaël (en 35), par la mise à distance de l'explication qu'elle réalise, ouvre la voie à deux pistes de discussion concernant :

- les raisons de l'apparition de nouveaux caractères (épisode 6) ;
- les raisons qui expliquent le maintien des modifications dans le temps (épisode 5-7).

Ces deux points font apparaître plusieurs possibles explicatifs qui sont soumis à la critique. Nous les analysons maintenant.

2.2.2.6. L'épisode 5-7 : Les raisons du maintien des caractères nouvellement apparus

Le tableau 5-9 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 5-7.

Tableau 5-9. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 5-7

44	Prof	Si les cornes n'apportaient pas d'avantages particuliers à ces grenouilles / est-ce qu'elles auraient pu apparaître	Question de l'enseignante qui tente d'articuler les deux points de la discussion.
45	Léo	Y'a pleins de trucs qui servent à rien sur les animaux / même nous y'a des trucs qui nous servent à rien	1/ Nous pensons que le « <i>même</i> » a une valeur argumentative : si chez l'homme il y a « <i>des trucs</i> » qui servent à rien, cela vaut pour l'ensemble des êtres vivants. 2/ Lexique flou qui, par cela même, est un procédé de généralisation (moins contextuel que l'exemple de la grenouille) : décontextualisation / étude de cas et recontextualisation / texte plus général. Cette proposition vient répondre à la question de l'enseignante.
46	Raphaël	Ouhais / les sourcils ça sert à quoi	Décontextualisation / texte général et recontextualisation / exemple chez l'homme. Cela lance la recherche de ce qui sert à rien chez l'homme. Argumentation par l'exemple. Hétéroglossie implicite: reprend l'argument présenté par Léo. Cette intervention est dissonante par rapport à l'intervention 39, car elle introduit une nouvelle perspective sociale qui s'oppose à 39.
47	Léo	Des fois c'est par nécessité et des fois c'est parce que // comme ça quoi	Décontextualisation / exemple de l'homme et recontextualisation / texte plus général par une dénivellation : déictique + être : « <i>c'est</i> » qui reprend tous les éléments qui ont été présentés précédemment : « <i>les sourcils</i> » de 46, « <i>les trucs</i> » de 45, « <i>les cornes</i> » de 35, c'est-à-dire les caractères apparus. La structure symétrique de la proposition indique deux possibilités pour expliquer le maintien des caractères apparus : - soit ils sont apparus « <i>par nécessité</i> » c'est-à-dire en réponse à une modification de l'environnement - soit « <i>c'est comme ça quoi</i> » -> ce qui présuppose un ordre de la nature. Cherche à réduire l'écart entre les deux points de vue et à réconcilier tout le monde
48	Prof	Par exemple chez l'être humain on a des dents de sagesse //	Décontextualisation / texte général et recontextualisation / exemple chez

			l'homme. En faisant cela, l'enseignante reprend l'énoncé 45 de Léo et relance le débat sur la recherche du lien entre la présence de certains caractères et leur utilité.
49	Lara	Moi j'en ai plus	
51	Léo	Ben // j'sais plus // j'crois que j'ai dit que tout n'était pas forcément nécessaire ça dépendait / des fois c'est nécessaire des fois ça ne l'est pas	« J'ai dit » prise en charge énonciative « tout » reprise du déictique « c' » de l'intervention 47 permet une décontextualisation / exemple de l'homme et recontextualisation / texte plus général. Reprise de la proposition 47 : recherche toujours à réduire l'écart.
52	Louise	Ben aux cornes / logiquement les cornes en générale c'est fait pour se défendre ou attaquer / les grenouilles elles en ont pas vraiment besoin donc à la limite dans l'évolution les cornes elles les perdraient / à moins qu'elles aient un prédateur redoutable avec qui elles auraient besoin de cornes	« C'est par rapport aux cornes » : Décontextualisation / texte général et recontextualisation / cas des grenouilles. Fonction des cornes : raisonnement en référence au monde « objectif » et à l'expérience quotidienne : « en général », « logiquement ». « Donc » marqueur de déduction logique : pas usage -> disparition « à moins que » concessif usage -> maintien. Ce serait donc l'usage qui déterminerait le maintien des caractères apparus. Déplacement de la thèse présentée en 39. En 39, utilité intrinsèque : ici on passe à un usage. L'usage/non-usage dépend du milieu extérieur (ici la présence ou non de prédateurs).
57	Raphaël	Moi je pense que tout ce qu'il y a enfin tout ce qu'on a nous ça sert forcément à quelque chose sinon ça aurait forcément disparu / à force // les sourcils //	Double modalisation « moi je pense que » qui indique une prise de position par rapport à ce qui a été dit précédemment. Double reprise-modification « tout » -> « tout ce qu'il y a » / « tout ce qu'on a » (même basculement sur les êtres vivants / sur l'homme) de l'intervention de Léo 45/51 qui l'oriente vers l'une de deux possibilités relevées par Léo en 51 en s'appuyant sur l'argument de Louise en 52. Même dénivellation qui permet décontextualisation / cas des grenouilles et recontextualisation / texte plus général. « forcément » modalité aléthique « à force » -> réintroduction de la question du temps qui avait disparu de la discussion jusque-là et qui est aussi argumentatif (c'est encore plus sûr que cela aurait disparu avec le temps).
58	Quentin	Ça empêche la poussière	« Ça » reprise-modification « les sourcils » Argumentation par l'exemple (illustration)
59	Raphaël	Ça empêche la poussière de rentrer dans les yeux // par exemple la taille aussi elle change au fil des ans	Reformulation de 58. Argumentation par l'exemple (illustration).
60		Brouhaha, rires	
61	Prof	Pourtant il existe des opérations où on réalise l'ablation de certains organes comme par exemple l'appendice / sans que cela pose problème pour la personne	« pourtant » : signale un changement de point de vue. Introduction d'un contre-exemple par l'enseignante. Il y a des organes que l'on peut retirer sans conséquences délétères.
62	Lara	Ça sert à rien l'appendice	Reprise du contre-exemple par Lara.
63		Brouhaha	
64	prof	Les dents de sagesse par exemple ça a son utilité particulièrement	
65	Aurore	Ça avait son utilité avant parce que on avait besoin d'une forte mâchoire / mais maintenant notre mâchoire s'est adaptée	Argument par l'exemple (illustration) Reconstruction <i>a posteriori</i> (il y avait une utilité avant) qui permet d'expliquer

		ce qui fait qu'elles servent plus à rien au pire ça détériore notre dentition	l'existence des dents de sagesse.
66	Camille	Notre alimentation elle a changé / ce qui fait qu'on s'en sert plus	Camille reprend la mise en relation proposée par Louise en 52, ce qui lui permet d'établir une relation entre la présence d'un caractère et le milieu de vie.
67	prof	Est-ce qu'on peut être sûr qu'elles vont disparaître	
68	Raphaël	Ben non elles vont pas disparaître parce qu'on aura toujours besoin de mâcher // mais par exemple avant tous les humains ils avaient beaucoup plus de poils et vu qu'on habite dans des foyers et qu'on a appris à se vêtir on n'a plus besoin de notre pelage	Argument : même s'il n'y a pas d'usage spécifique, il y a tout de même un usage Nouvel exemple
69	Lara	Moi par exemple des dents de sagesse j'en ai pas du tout // et comme ce qu'on mange c'est de plus en plus mou et ben notre évolution fera qu'on aura moins de dents	Explication qui permet de faire une prévision.
91	Nathan	Je vois pas trop par exemple parce que les pygmées ils sont tous petits et dans la forêt je vois pas l'avantage	Recherche d'un contre-argument sur un autre exemple.
92	Louise	Ben s'ils peuvent mieux se cacher / je sais pas si ce sont leurs caractéristiques propres ou si c'est leur matériel génétique	Retournement du contre-exemple qui finalement entre bien dans la thèse développée ici.

Cet épisode argumentatif a une structure particulière. En effet, même si au début de l'épisode, il a deux thèses : « tous les caractères (qui se maintiennent) ont une utilité » / « certains caractères ne servent à rien », les analyses présentées montrent que l'épisode est organisé autour d'une réduction de ces deux thèses (en 47, en 51). La dissonance est orchestrée pour la réduire. C'est la raison pour laquelle nous ne présenterons pas de structure argumentative de cet épisode.

La première thèse, présentée par Raphaël en 35, explique le maintien des caractères apparus si la reproduction des individus est possible. Mais elle ne donne lieu ni à argumentation ni à objection puisque l'enseignant (en 36) semble ne pas la retenir (puisqu'elle ne la reconnaît pas). L'intervention de l'enseignante oriente la discussion sur la fonction des caractères apparus.

Une nouvelle thèse va alors se construire progressivement entre les interventions 37-92 : les caractères se maintiennent en fonction de leur utilité. Cette thèse va s'ajuster progressivement et donne lieu à une coconstruction.

Dans un premier temps, l'utilité est considérée *d'un point de vue intrinsèque* : ça sert / ça sert pas. Les élèves indiquent alors que l'on pourrait trouver des caractères ou des organes sans utilité / sans fonction. Cela conduit un élève à proposer que certaines adaptations sont nécessaires (ce qui renvoie à l'idée de modification de l'information génétique adaptative) et que d'autres sont comme ça (qui n'auraient pas d'utilité *a priori*). Des exemples venant illustrer cette proposition vont être recherchés par les élèves (les sourcils...). Dans un cas comme dans l'autre, cette conception renvoie à

l'explication proposée par le premier groupe. Par contre, elle est difficilement compatible avec l'impossibilité des mutations adaptatives qui se construit également lors de la discussion du modèle présenté par le deuxième groupe d'élèves (épisode 6).

Il nous semble que la dynamique de l'extrait de débat présenté est liée à une tentative de réduction de cette dissonance. Ainsi, les élèves vont s'engager dans la recherche de la fonction des caractères, même si celle-ci n'est pas évidente d'emblée. Cela conduit au déplacement de la thèse initiale : celle d'une utilité intrinsèque des organes. C'est Louise qui assure ce déplacement : plutôt que l'utilité intrinsèque des caractères nouvellement introduits, ce serait l'usage d'un caractère qui permettrait d'expliquer son maintien. De plus, elle introduit, dans cette thèse, une dimension temporelle ce qui permet de l'étayer : si l'organisme concerné ne fait pas (ou ne fait plus) usage de certains organes, ils devraient disparaître avec le temps. L'explication par l'usage ou le non-usage des organes est compatible avec l'apparition aléatoire de nouveaux caractères.

Enfin, il y a une dernière évolution dans cette thèse : l'usage est mis en relation avec les caractéristiques du milieu extérieur. Comme celui-ci peut changer (l'alimentation, le mode de vie), on peut expliquer la présence de certains organes (même si actuellement l'organisme n'en pas usage) par un usage ancestral (c'est la reconstruction *a posteriori* en 65). Cette explication a une certaine fonctionnalité puisqu'elle permet de faire des prévisions, comme celle de la disparition des dents de sagesse chez l'Homme à long terme.

Il y a donc construction, selon nous, d'une nécessité d'utilité et d'usage des caractères apparus pour qu'ils se maintiennent, usage en fonction des caractéristiques du milieu de vie. La nécessité est fondée sur un ensemble d'éléments empiriques construits sur des exemples *ad hoc*, que l'on peut résumer suit : la fonction des différents organes (caractères) d'un organisme, compte tenu des conditions de vie. La présence d'organes (de caractères) dont l'organisme n'a pas usage peut être référée à une modification du milieu de vie. Avec le temps, les caractères apparaissent et se maintiennent alors que d'autres peuvent disparaître.

2.2.2.7. L'épisode 6 : Les raisons de l'apparition des modifications génétiques

Le tableau 5-10 présente l'analyse épistémologico-langagière de l'épisode 6.

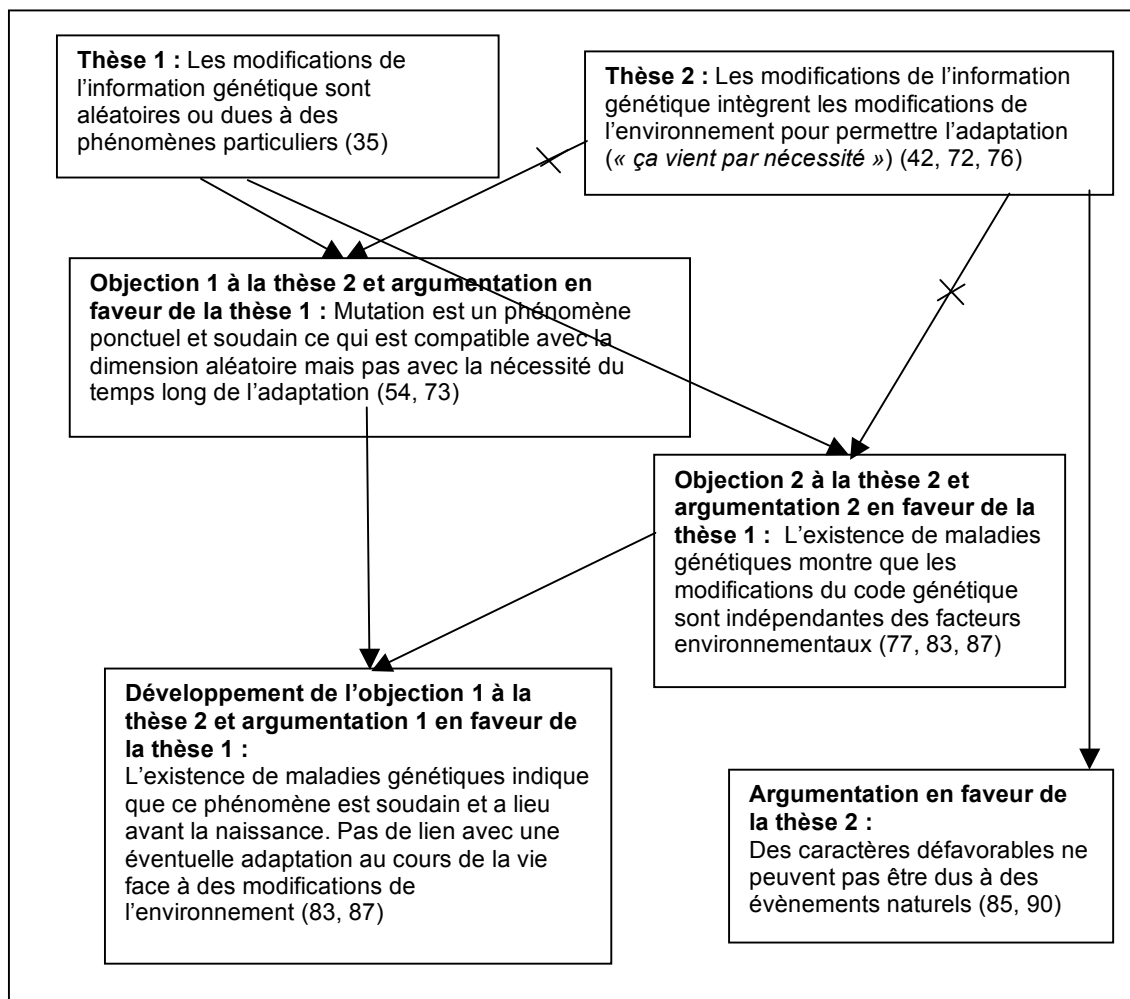
Tableau 5-10. Analyse épistémologico-langagière de l'épisode 6

54	Gwenoline	C'est des formes de mutations quelconques	Reprise modification par thématization et généralisation (indéfini des formes) : « <i>Modification du code génétique</i> » -> « <i>mutation quelconques</i> ». Orchestration de l'hétéroglossie : cette reprise-modification indique une prise de position par rapport à la position de Camille (en reprenant le terme proposé par Raphaël en 35) et ancre la discussion dans un monde scientifique. Construction de l'objet du discours « <i>mutation</i> » (en 35) est devenu « <i>mutations quelconques</i> » -> une caractéristique de la mutation, c'est qu'elle soit aléatoire. Cela confirme la déconnexion entre ce qui cause la mutation et les conséquences de la mutation.
71	prof	Je pose une question / est-ce qu'une mutation peut arriver spontanément au hasard comme ça sans qu'il y ait de lien avec l'environnement	Thématisation du différend par l'enseignante.
72	Louise	À part le nucléaire non	Pas de mutation aléatoire
73	Aurore	À part le nucléaire je pense que ça peut arriver au hasard parce que le corps n'a pas le temps de s'adapter c'est plus un changement brusque	Mutation aléatoire possible. Orchestration de l'hétéroglossie : double prise en charge énonciative « <i>je pense</i> » et modalisation appréciative « <i>ça peut</i> », « <i>c'est plus</i> » : signale une prise de position contre ce qui a été dit avant. La mutation est un phénomène soudain or une mutation adaptative nécessite un « <i>temps long</i> », ce n'est donc pas possible.
74	Louise	Tu peux répéter ta question	
75	prof	Ma question est de savoir est-ce que pour vous c'est envisageable de penser que les mutations dans le matériel génétique pourraient être totalement hasardeuses	
76	Louise	Pour moi non / à part par le nucléaire sinon c'est par nécessité	Orchestration de l'hétéroglossie : « <i>pour moi</i> » prise en charge énonciative : prise de position contre la position d'Aurore. Le « <i>c'est</i> » reprise-modification « <i>mutation</i> » « <i>par nécessité</i> » renvoie à l'idée que la mutation répondrait à l'intégration d'une modification du milieu dans l'information génétique.
77	Lara	Ben par exemple y'a des maladies génétiques qui viennent comme ça et c'est pas par besoin ni rien / même des déformations physiques / y'a des enfants qui naissent avec 4 doigts et c'est pas par nécessité ou par besoin / c'est parce que c'est comme ça	L'exemple des maladies génétiques : « <i>comme ça</i> » reprise modification de « <i>hasard</i> » en 73. Orchestration de l'hétéroglossie : « <i>c'est pas par besoin ni rien</i> » marque l'indépendance des mutations par rapport à un phénomène auquel il faudrait s'adapter. En cela opposition à la proposition de Louise en 76.
78	Prof	Alors pour toi ça peut arriver au hasard	
79	Lara	Ben ouais	
83	Louise	Par rapport à ce que disait Lara / une maladie génétique tu l'as pas au cours de ta vie tu l'as dès la naissance donc c'est pas provoqué c'est dès la naissance	« Par rapport à ce que disait Lara » Louise reprend l'argument de Lara pour développer son argumentation mais en prenant dans l'exemple ce qui vient renforcer son argument : Moments où ont lieu les modifications qui

			provoquent l'apparition des mutations. Comme c'est avant la naissance, cela ne peut pas être provoqué (pas de mutation adaptative)
85	Quentin	Oui mais les inconvénients ils sont provoqués par les des éléments pas naturels / si on parle du nucléaire	Orchestration de l'hétéroglossie : « <i>oui mais</i> » d'argumentation « <i>il s'agit d'effacer l'effet argumentatif d'une proposition P, en allant dans un certain sens, en lui ajoutant une proposition Q allant dans le sens opposé, et y allant de façon plus décisive</i> » (Ducrot, 1978, p. 43). Ici l'argument c'est que les « <i>inconvénients</i> » ne peuvent pas être provoqués par des causes naturelles.
86	prof	Pourtant certaines maladies sont dites héréditaires	
87	Louise	C'est quelque chose que t'as eu dès ta naissance pas au cours de ta vie	« C'est » Reprise-modification de « <i>maladie héréditaires</i> » Orchestration de l'hétéroglossie : précise ensuite une caractéristique des maladies héréditaires qui a valeur argumentative (reprise de l'argument présenté en 83).
88	Prof	Donc c'est inné // alors que tout ce qui confère un avantage ça va forcément être acquis au cours de la vie / c'est ça	
89	Quentin	Tu peux répéter	
90	Raphaël	À mon avis / non pas seulement les avantages //	Orchestration de l'hétéroglossie : prise en charge énonciative « <i>à mon avis</i> » qui signale une prise de position contre ce qui a été dit avant.

Par rapport à l'épisode précédent, où les élèves cherchent à réduire la dissonance produite par la proposition de deux thèses différentes, cet épisode est fortement argumentatif. Ainsi, nous pensons que le doute exprimé par Raphaël lors de l'intervention 35 est transformé en une question argumentative par l'enseignante, ce qui conduit au développement d'une opposition de thèses que nous allons représenter par une structure argumentative afin de comprendre ce qui est en jeu dans cet épisode, du point de vue de la problématisation (figure 5-9).

Figure 5-9. Structure argumentative de l'épisode 6



Il convient de souligner que la structure argumentative de cet épisode est différente de celle présentée à la figure 5-8. Alors que le premier épisode argumentatif (pour ce débat dans cette classe) présentait une structure relativement linéaire (thèse, argumentation en faveur de la thèse, objection à la thèse, dépassement de l'objection à la thèse, reformulation de la thèse), celle-ci est différente. Les interventions des élèves ont un double rôle argumentatif. Elles permettent à la fois d'objecter face à la thèse des modifications génétiques adaptatives et d'argumenter en faveur de la thèse des mutations aléatoires. Notons la dimension fortement dialogique de cet épisode que l'on ne peut pas comprendre sans indiquer à quoi il vient répondre. Tout d'abord, il vient répondre aux propositions formulées par le premier groupe. Ensuite, cet épisode permet de remobiliser des savoirs préalablement construits sur le concept de mutation. L'introduction de cet élément de savoir, dès l'intervention de Raphaël en 35, par une reprise modification par anaphore lexicale permet un déplacement de la thèse 1 concrétisé par l'intervention de Gwenoline en 54 : les mutations sont aléatoires par

définition, même si certains facteurs, comme les radiations évoquées par le groupe 2, peuvent les provoquer.

Ainsi, l'argumentation à propos de la dimension aléatoire de cette thèse conduit à mettre à mal la thèse des modifications génétiques orientées, pour deux raisons :

- le caractère soudain des mutations, incompatible avec une modification adaptative de l'information génétique en fonction des caractéristiques du milieu de vie ;
- les mutations touchent l'information génétique avant le développement embryonnaire, elles ne peuvent donc pas prendre en compte, par avance, les conditions de vie que l'organisme adulte va rencontrer.

Cette argumentation semble porter puisqu'une élève comme Louise semble changer de position au cours du débat :

- en 72, 76, elle indique que les mutations sont dues au nucléaire ou sont par nécessité ;
- en 83, c'est elle qui développe l'argument présenté par Lara : « *Par rapport à ce que disait Lara / une maladie génétique tu l'as pas au cours de ta vie tu l'as dès la naissance donc c'est pas provoqué c'est dès la naissance* ».

Les élèves qui adhèrent à la nécessité d'une intégration adaptative des modifications de l'environnement dans l'information génétique défendent une thèse sans l'argumenter. La dernière argumentation en faveur de la thèse des modifications génétiques adaptatives ne repose pas sur des éléments précis (qui pourraient être observables) mais sur une conception particulière des phénomènes vitaux qui, par eux-mêmes, ne peuvent pas entraîner des dysfonctionnements. Les dysfonctionnements sont nécessairement provoqués par des événements extérieurs. La vie ne peut pas aller contre la vie. Il nous semble que les élèves (Quentin, Raphaël) ne sont pas dans le même paradigme explicatif et qu'il soit difficile pour eux de pouvoir se résoudre aux arguments des autres. Cela relève de présupposés quasi-méthaphysique. Et cela conduit à un dialogue de sourd.

Au terme de cette épisode argumentatif, il nous semble que certains élèves de la classe ont pu construire, en appui notamment sur l'existence des maladies génétiques, que les mutations ne peuvent pas être adaptatives, même si elles peuvent être provoquées par des événements spécifiques, c'est-à-dire comme une réponse orientée à une modification de l'environnement pour les deux arguments avancés ci-dessus. Cette position est différente de la première. Elle vient même lui répondre, même si cette incompatibilité n'est pas explicitement thématifiée dans le débat.

2.2.2.8. Discussion intermédiaire : l'état de la discussion avant la présentation de l'explication du groupe 3

1/ La structure de l'explication proposée par les élèves.

Il nous semble que nous pouvons interpréter l'explication proposée par le deuxième groupe d'élèves sous la forme d'une histoire. Même si l'état initial n'est pas clairement explicité, nous pensons que l'état initial n'est pas différent de celui du premier groupe : les espèces sont adaptées à leur milieu de vie. De la même façon, l'état final est le même.

En revanche, la perturbation est différente : c'est l'apparition de mutations aléatoires qui vient rompre l'état initial. Dans un premier temps, la mutation est provoquée par une fuite nucléaire et rapidement les élèves envisagent d'autres possibles, à partir des savoirs scolaires, et précisent que des mutations peuvent même survenir en dehors de conditions environnementales particulières (même si certaines peuvent les favoriser), c'est la discussion de l'épisode 6. Ces mutations aléatoires font apparaître de nouveaux caractères représentés par de nouveaux organes dans la discussion).

Comme la nature de la perturbation n'est pas la même que dans la première histoire (dans le premier cas, il s'agissait d'une modification de l'environnement), le problème auquel s'attaquent les élèves est également différent. Il ne s'agit plus d'expliquer comment des individus vont s'adapter à de nouvelles conditions environnementales, mais comment des caractères nouvellement apparus vont se maintenir ou non, de sorte que les individus soient, finalement, adaptés à son environnement (état final), c'est la discussion de l'épisode 5-7. Il nous semble que cela explique pourquoi les propositions référées à un mutationnisme adaptatif sont rapidement rejetées sans argumentation : ce n'est pas le problème... Du point de vue de la stratégie argumentative utilisée, nous retrouvons une dynamique semblable à celle décrite lors de la présentation du premier groupe : la construction de l'argumentation des élèves repose sur une dynamique de décontextualisation/recontextualisation en appui sur des exemples *ad hoc* à partir desquels les élèves recherchent la fonction des caractères nouvellement apparus pour établir leur utilité. S'ils sont utiles, ils se maintiendront, sinon ils disparaîtront. Il convient de noter que la recherche de l'utilité de telle ou telle caractéristique d'un être vivant est une priorité dans les travaux de Darwin. Utilité est d'ailleurs l'un des mots qui apparaît le plus dans *L'origine des espèces* (Pichot, 1993, p. 803). Pichot précise que, pour Darwin, « *c'est l'utilité qui justifie l'organe* » (*ibid.*, p. 804) puisqu'« *une fois l'utilité trouvée, son explication est trouvée* » (*ibid.*). Pour Darwin, c'est la sélection naturelle qui permet de conserver une nouvelle caractéristique. Dans l'explication proposée par les élèves, il n'y a pas de mécanisme expliquant ce maintien, il n'y a pas

de concurrence entre les espèces, pas de compétition pour la survie. Dans ce sens, l'explication des élèves reste téléologique⁵².

3/ L'état de la problématisation à la fin de cette séquence.

La discussion se développe dans un cadre transformiste comme la première explication, puisqu'un individu va se transformer en une autre. Les élèves mobilisent des savoirs disponibles :

- les caractères exprimés sont le produit de l'expression de l'information génétique, cette dernière pouvant être modifiée à l'occasion de mutations aléatoires ;
- une maladie génétique, on l'a avant sa naissance ;

pour établir l'impossibilité d'une orientation adaptative des modifications génétique.

La mobilisation de la nécessité d'un temps long, qui pourrait être importée de la séquence à propos de l'explication du groupe 1 (il convient de modaliser fortement cette hypothèse puisque nous n'avons pas moyen de le savoir, il peut également s'agir d'une contrainte théorique mobilisée dans ces raisonnements sans relation avec la discussion précédente), dans le cadre d'un raisonnement téléologique, permet de construire la nécessité de l'usage des caractères apparus pour qu'ils se maintiennent.

Il convient de préciser l'usage du temps fait par ce groupe d'élèves. Alors que le temps long était nécessaire pour permettre aux mutations adaptatives d'avoir lieu dans le premier groupe, ici, le temps long permet d'expliquer le devenir des caractères apparus. Le temps long permet d'expliquer que certains caractères vont se maintenir alors que d'autres vont disparaître : « temps long + usage » explique le maintien des caractères apparus, « temps long + non usage » explique la disparition des caractères apparus.

Pour savoir ce que vont devenir ces nécessités dans la suite de la discussion, nous allons étudier la présentation / explicitation du groupe 3.

2.2.2.8. Présentation du groupe 3

Le tableau 5-11 présente l'analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 2.

⁵² Même si cela semble critiquer toute explication téléologique. Pour prendre en compte le projet, la « téléonomie » de Monod (1970, p. 23-29), il faudrait envisager plusieurs niveaux dans les explications téléologiques.

Tableau 5-11. Analyse épistémologico-langagière de la présentation/explicitation de l'explication du groupe 3

Jonathan, Louise et Lucille font partie du groupe 3.

96	Louise	Le mésohyppus c'est l'ancêtre du cheval / il était petit et avait 4 griffes c'est une proie qui pour se défendre doit fuir / en fait pour mieux courir il s'est adapté physiquement ses prédateurs étaient de plus en plus grands et courraient de plus en plus vite et lui il était petit et courait de pas très vite // donc il a grandi <u>et</u> ses griffes se sont transformées en sabots pour une meilleure adhésion au sol, et plus de rapidité // <u>et</u> il grandit pour prendre plus de force en fait et ça donne un cheval	Mise en histoire : - <i>en italique</i> présentation du personnage, de sa situation initiale condensée et de son évolution : mésohippus est une proie facile, adaptation physique pour fuir plus facilement - le déclencheur : reprise de « <i>c'est une proie</i> » qui est explicité : c'est une proie facile car ses prédateurs sont grands et courent vite (l'évolution est une réponse à une modification des prédateurs) - les solutions au problème « <i>donc</i> » connecteur logique qui permet de comprendre pourquoi mésohippus n'a pas tout simplement disparu - « <i>il a grandi</i> » pour avoir plus de force - griffe -> sabot pour avoir une meilleure adhésion au sol et courir plus vite - Résolution et conclusion « <i>et ça</i> » : dénivelation : l'ensemble de ces modifications conduit à transformer mésohippus en cheval. C'est l'état final
97	Prof	Des réactions	
98	Léo	La génétique elle intervient pas là	Critique qui porte sur l'absence de référence à la génétique
99	Plusieurs élèves	Ben si	
100	Louise	Comment tu fais cette évolution-là mise à part génétiquement	Réponse de Louise à la critique émise par Léo : lien entre les caractères génétiques et l'apparition de nouveaux caractères
101	Léo	Mais c'est pas écrit	
102	Louise	C'est pas écrit mais c'est supposé	
103	Aurore	Je trouve que ça reprend un peu le premier schéma sur l'évolution progressive selon les conditions de l'environnement	Mise en relation entre l'explication proposée par le groupe 3 et celle présentée par le groupe 1.
104	Gwenoline	C'est vraiment prouvé ce qui s'est passé là en fait (<i>interrogatif</i>)	
105	Nathan	T'as déjà vu une photo du mésohippus	
106	Prof	Je ne valide par leur modèle explicatif // je peux préciser que mésohyppus est un fossile qu'on a retrouvé qui montre des caractéristiques qu'on observe chez le cheval actuel / notamment avec un troisième doigt plus développé	
107	Louise	Le fait qu'il court ça a dû aplatiser à moitié ses griffes et en fait y'a une griffe qui se transforme en sabot et les autres griffes en fait sont dans la jambe	Autre explication téléologique possible par rapport à la transformation des membres.
108		//	
109	Nathan	C'est les os maintenant // ce qu'on peut voir sur la jambe d'un cheval c'est que ça ressemble plus ou moins à une patte / c'est bizarre car ce prolongement comme ça on ne retrouve pas ça chez beaucoup d'animaux // et euh c'est vrai que ça pourrait expliquer ça	
110	Louise	Lucille elle m'avait expliqué et ça coïncidait bien	

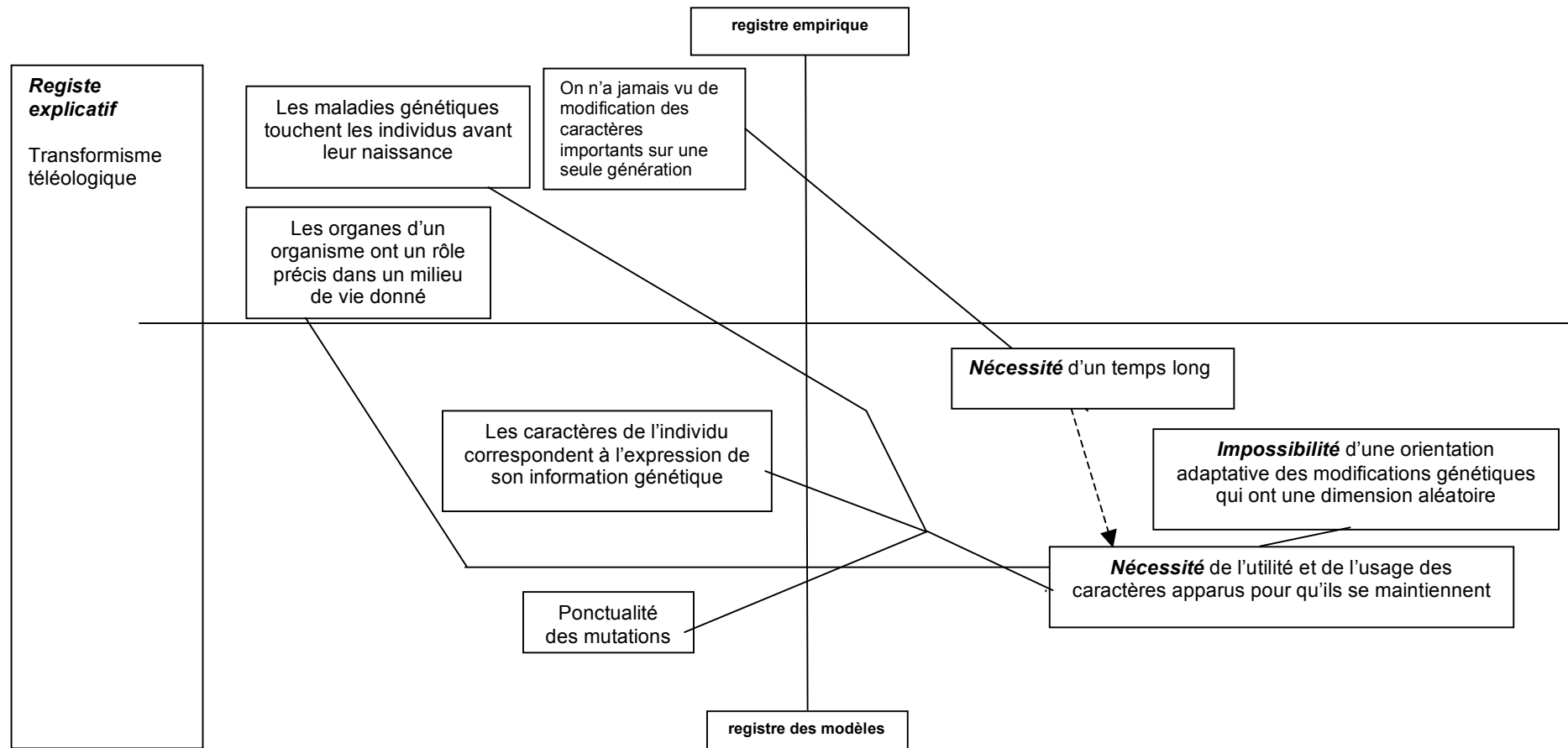
Comme l'indique Gwénoline en 104, cette explication est effectivement proche de celle développée par le premier groupe. L'explication présentée s'appuie sur les modifications adaptatives d'un individu. Le singulier, employé par Louise en 93, renvoie à la fois à l'organisme (à un individu) et au type, mais ne s'intéresse pas à la collection (la série dans l'espace de notre figure 5-4). Les modifications adaptatives conduisent à une transformation de l'individu en un nouveau. Les critiques émises à propos de cette présentation ne reprennent pas les éléments discutés lors de la deuxième présentation. Deux critiques sont émises ici. Le fait que la génétique ne soit pas explicitement convoquée dans cette explication. Nous avons déjà indiqué que cette discussion se déroule dans un cadre explicatif plus ou moins génétique, mais où, *a minima*, les caractères sont liés à l'information génétique des individus. Louise, en 100, précise que cela va de soi et qu'il n'est donc pas nécessaire de le préciser puisque c'est évident. La seconde critique porte sur la vraisemblance de cette histoire : intervention de Gwénoline en 104 : « *C'est vraiment prouvé ce qui s'est passé là en fait* ».

L'explication du groupe 3 raconte une belle histoire, mais celle-ci n'est pas soumise à une discussion critique. Les contraintes et nécessités construites au cours de la séquence précédente (présentation G2, épisodes 5, 6 et 7) ne sont pas mobilisées. Aucune avancée de la problématisation n'a lieu, si ce n'est l'intervention de Louise en 100 (« *comment tu fais cette évolution-là mise à part génétiquement* ») qui semble confirmer l'interprétation faite depuis le début de l'analyse, à savoir que le lien « information génétique » -> « caractère » est une contrainte théorique liée à la communauté discursive scolaire scientifique qui n'a pas besoin d'être dite (cela va de soi pour tous les membres de la communauté).

2.2.3. Conclusion : l'espace « contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat sur les mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES

Pour faire le point, à la fin du débat, sur les contraintes et nécessités construites et discuter, dans la section suivante, de ce qui a favorisé / empêché le développement de l'activité de problématisation des élèves, nous présentons l'espace « contraintes et nécessité » en jeu dans ce débat sur les mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES (figure 5-9).

Figure 5-9. Espace « contraintes et nécessités »⁵³ en jeu dans le débat sur les mécanismes de l'évolution en classe de première ES



⁵³ Ici, nous utilisons le terme registre explicatif car nous qualifions le produit du processus de problématisation qui reprend des contraintes et nécessités construites dans des séquences différentes du débat pour lesquelles nous sommes loin d'être sûr que les élèves aient fait ces relations.

2.3. Discussion

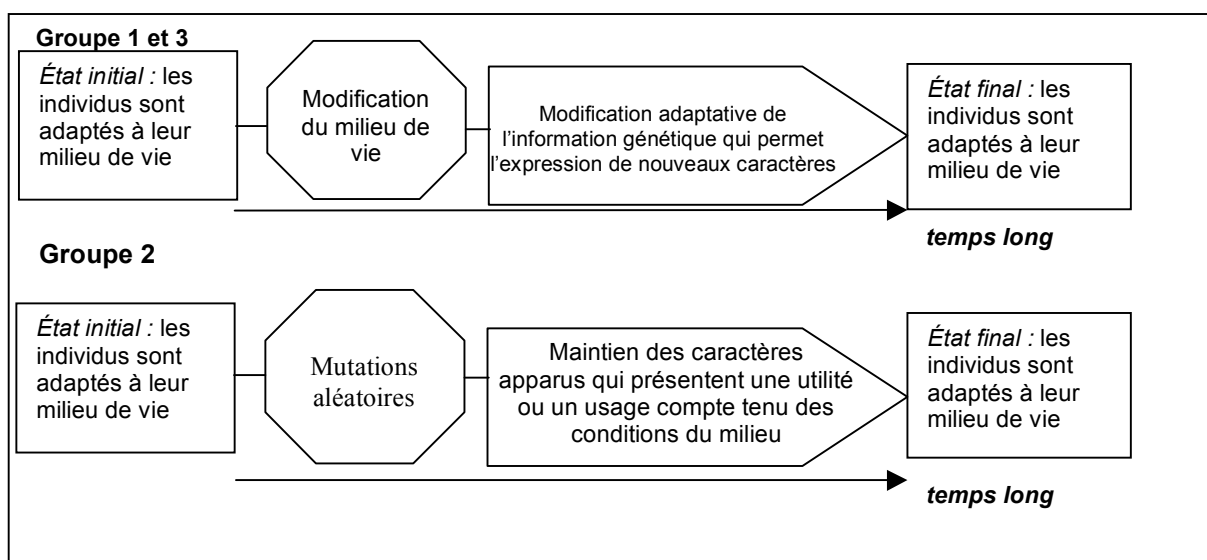
Voyons l'apport de cette étude de cas par rapport à ce qu'il met à jour du processus de problématisation des élèves à propos d'une explication de l'évolution des espèces dans une situation scolaire ouverte ayant donné lieu à un débat scientifique dans une classe de première ES. Il s'agit de montrer les apports d'une analyse épistémologico-langagière pour comprendre le processus de problématisation.

2.3.1. La forme narrative des explications produites : outil / obstacle

Nous avons indiqué que les trois explications construites ont une forme narrative (plus ou moins explicitée en fonction des explications des groupes) : elles ont une structure linéaire attestée graphiquement par les quatre productions de groupe (présentées en annexe 6).

Cependant, même si l'état initial et l'état final sont identiques, l'histoire n'est pas la même. La figure 5-10 présente ces deux histoires.

Figure 5-10. Les deux explications présentées au cours du débat



Dans ces deux explications, l'élément perturbateur est différent et c'est l'écart entre la perturbation et l'état initial qui déclenche la recherche d'une explication. Elle consiste alors à un retour à un état d'équilibre. Cela permet de comprendre comment la position

du problème oriente la nature de l'explication construite. Cela permet également de comprendre pourquoi les deux explications sont incompatibles : elles ne répondent pas au même problème et, par-là, pourquoi les éléments explicatifs construits lors de la présentation du premier groupe ne sont pas entendus lors de la discussion du deuxième groupe et sont rejetés sans discussion. Ces éléments n'ont pas de pertinence par rapport au problème pris en charge à ce moment de la discussion. Ainsi, il nous semble que la forme récit mobilisée par les élèves a une double fonction, caractéristique des obstacles (Fabre, 1995 ; Peterfalvi, 2001) : celle d'outil et d'obstacle. En effet, le récit, en tant qu'outil, est propice à la position d'un problème. Comme le précise Bruner, « *un grand récit nous invite à poser des problèmes, il n'est pas là pour nous dire comment le résoudre* » (2002/2005, p. 33). De plus, c'est un genre en dépôt dans la culture populaire qui fournit aux élèves une forme langagière qui leur permet de s'essayer à une explication.

Par contre, la mise en histoire engage naturellement les élèves à produire une explication linéaire, ce qui vient renforcer le caractère transformiste de leurs explications, transformisme qui caractérise généralement les explications de l'évolution des espèces (Audigier & Fillon, 1991 ; Fortin, 1994 ; Ferrari & Chi, 1998 ; Fortin, 2000). La première explication peut renvoyer, d'après la typologie de Fortin (1994, p. 158-159), à une conception pro-évolutionniste où les modifications génétiques sont induites par le milieu et sont favorables à l'organisme. La seconde à une conception pseudo-transformiste.

Dans les deux cas, la nouvelle espèce vient prendre la place de l'espèce de départ, selon un processus proche d'une métamorphose, puisque même s'il s'agit d'un nouvel individu, il s'agit d'un individu qui prend le relais de l'individu précédent. Ce mythe de la métamorphose, comme le précise Rumelhard, « *sert de toile de fond à une mythologie évolutionniste qui fonctionne toujours-à-nouveau comme un obstacle à l'assimilation des conceptions darwiniennes* » (1995, p. 336). Cet obstacle fonctionne de deux façons différentes dans les deux explications. Dans la première, il joue complètement puisque toute transformation est possible, sans contrainte. Dans la seconde, il joue autrement, puisque les modifications génétiques ont un caractère aléatoire. Cependant, les élèves en restent à un raisonnement au niveau de l'individu ou du type, ils en restent à une série dans le temps (dans le plan vertical du schéma 5-4), ils n'arrivent pas à intégrer série dans l'espace (la population) et série dans le temps, intégration qui caractérise la pensée évolutionniste. Ainsi, la transformation d'un individu/type en un autre relève toujours d'une métamorphose. Le nouvel être vivant apparaît dans le prolongement du précédent, mais plus perfectionné, plus adapté, dans un processus de perfectionnement graduel d'organisation. Puisqu'il n'y a pas de population (série dans l'espace), cela ne permet pas de penser la diversification. C'est la raison pour laquelle, nous pensons que « *l'élève*

abandonne la diversification pour ne retenir que la transformation » (Fortin, 2000, p. 92-93). De la même façon, il n'y a pas de disparition d'espèces, ce qui renvoie à une conception continuiste de l'histoire de la vie, d'autant plus que la pensée commune, comme le rappelle Rumelhard, « *admet volontiers que des créations d'êtres ou de choses ont lieu, mais que "rien ne se perd"* » (1995, p. 15). Cela constitue un obstacle à la conceptualisation du négatif en SVT. Au final, les élèves développent une conception ontogénétique de l'évolution basée davantage sur le modèle d'un développement que sur celui d'un modèle darwinien. Dans ce sens, l'évolution assure « *le changement dans la continuité* » (Fortin, 2000, p. 96), ce qui place les explications transformistes dans un cadre plus fixiste qu'évolutionniste, paradoxe déjà souligné par certains didacticiens (Lacombe, 1987 ; Fortin, 2000). Cela conduit, comme le précise Rumelhard, à manquer « *cette nouvelle dimension qui permet de comprendre la constitution du monde vivant, celle de l'histoire* » (1995, p. 338).

Il nous semble que la structure narrative traduit, sur le plan langagier, un raisonnement séquentiel « *qui ne favorise pas la prise en compte simultanée de toutes les caractéristiques de la situation* » (Viennot, 2003, p. 16). Ainsi pour envisager une diversification, il faut pouvoir concevoir, à la fois, la formation d'une nouvelle espèce et le maintien de l'espèce souche par le phénomène de la spéciation. Envisager une diversification nécessite une rupture avec un raisonnement séquentiel et la prise en compte des séries d'êtres vivants dans une dimension horizontale ET verticale (figure 5-4). L'étude de cas que nous présenterons dans la section 4. nous donnera l'occasion de revenir sur cette discussion.

Nous voulons souligner que la mise en récit des élèves rate, pour le deuxième groupe, l'articulation entre l'apparition aléatoire de nouveaux caractères et le tri qui suppose une pluralité et une diversité (il n'y en a pas puisque les élèves raisonnent sur une série linéaire d'être vivants) par le milieu. Le fait, pour ces élèves, de ne pas pouvoir mobiliser le concept de population ne leur permet pas de construire le concept de sélection naturelle.

2.3.2. La dynamique de construction de l'explication

1/ La pratique du débat scientifique appuyée sur des productions de groupes permet aux élèves de s'inscrire au sein d'une communauté discursive scientifique scolaire dont le mode de fonctionnement est construit progressivement au sein de la classe. De ce point de vue, les premières interventions montrent un certain tâtonnement qui permet une « *reconstruction par le sujet des paramètres de l'interaction sociale* » (Bernié, 2002, p. 78-79).

Les trois premières interventions du débat semblent intéressantes à analyser de ce point de vue.

1	Prof	Donc on s'interroge bien sur qu'est ce qui peut amener au cours du temps à l'apparition d'une nouvelle espèce // qu'est ce que vous pensez de leur explication / vous pouvez émettre des critiques positives ou négatives ou des questions
2	Louise	C'est bien c'est logique
3	Lara	C'est par rapport à la reproduction qu'il y a des changements génétiques / au fur et à mesure que les espèces s'adaptent // enfin //

Les interventions de Louise et de Lara indiquent la recherche d'un positionnement adéquat au sein du débat scientifique. Dans un premier temps, Louise valide la présentation du premier groupe arguant de la logique de la présentation. Lara, quant à elle, à partir du cas présenté par le premier groupe (l'évolution du canard en période glaciaire), propose une formulation qui prend la forme, pour reprendre la typologie de Bronckart (1996), d'un discours théorique (discours qui renvoie au monde objectif et qui est autonome à l'égard des paramètres de la situation de communication). Il nous semble que les élèves hésitent ici entre la validation rapide d'une proposition et un énoncé général. Cet énoncé est incomplet puisque le lien entre les changements génétiques et l'adaptation des espèces reste relativement implicite (il est inclus dans le « *au fur et à mesure* »). La suite de la discussion vise à construire l'explication via la construction de contraintes et de nécessités. L'activité de problématisation passe alors par un changement de position des élèves par rapport au discours tenu. Rapidement les élèves prennent une certaine distance par rapport aux énoncés produits, distance signalée par des phénomènes énonciatifs relevés dans nos analyses. Cela s'accompagne également du développement d'une activité argumentative. Ainsi, par l'activité langagière et cognitive développée au cours du débat scientifique, les élèves passent d'un discours propositionnel peu argumenté, à un discours plus scientifique et aussi d'un discours sur un phénomène à un discours sur (au moins en partie) un discours concernant ce phénomène.

2/ Plusieurs mécanismes langagiers accompagnent l'activité de problématisation des élèves. Nous avons indiqué différents processus de coconstruction des éléments qui entrent en jeu dans la problématisation à travers, notamment, des stratégies de reformulations et de dénivellations identifiées dans le débat. L'ensemble de ces déplacements épistémologico-langagiers associé aux stratégies d'orchestration de l'hétéroglossie et du dialogisme permet d'augmenter la cohérence de l'explication construite (phénomène déjà mis en évidence dans Jaubert & Rebière, 2000 ; Jaubert, 2001 ; Jaubert, 2008 ; Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2009). On observe ainsi d'une part, des mécanismes de textualisation, essentiellement, dans le cas étudié, un travail sur la cohésion référentielle des énoncés et sur les phénomènes de connexion et, d'autre part, des mécanismes de prise en charge énonciative. Effectivement, nous avons montré le caractère dialogique des énoncés produits par les élèves qui n'ont de sens que si on les met en relation avec les énoncés précédents auxquels ils viennent répondre.

L'augmentation de la cohérence des énoncés soulignée plus haut conduit à deux cas de figure différents :

- Soit, elle permet une réduction la dissonance produite par les différentes voix qui s'expriment dans le débat (dans la même intervention : hétéroglossie ; entre plusieurs intervention : dialogisme) en essayant de les faire tenir ensemble. C'est le cas pour la construction de la l'explication du groupe 1 et de la discussion de l'épisode 5-7. Cela permet de construire la nécessité de l'utilité et de l'usage des caractères apparus pour qu'ils se maintiennent ;
- Soit, elle conduit à la mise en place de deux thèses qui s'opposent. Dans les discussions des épisodes 2-4 et de l'épisode 6, cela provoque l'enclenchement d'un épisode fortement argumentatif.

Dans l'épisode 6, il y a une opposition entre deux thèses irréductibles (car elles ne s'inscrivent pas dans le même paradigme) : la thèse des modifications génétiques aléatoires (1) face à la thèse des modifications génétiques adaptatives (2). Les élèves qui développent la thèse 1 s'appuient sur la mobilisation d'un savoir stabilisé (le concept de mutation). Il nous semble que l'appui sur un savoir stabilisé est un acte argumentatif fort qui confère, à ceux qui l'énoncent, une position de dominance. Comme le précisent Plantin et Buty, « *cette relation de dominance, qu'elle soit locale ou établie, peut influencer les processus de validation, les propositions venant de la position haute ayant tendance à être validées et celles de la position basse rejetées* » (2009, p. 239), ce qui conduit, selon nous, à la validation de la thèse 1. Nous avons également montré que les procédures d'argumentation mobilisées par les élèves permettent, la construction de contraintes et de nécessités. Dans l'épisode 6, l'impossibilité d'une modification génétique adaptative. Lors de l'épisode 2-4 / 1-3, nous avons analysé un épisode

argumentatif qui conduit à une reformulation de la thèse de départ, reformulation qui induit la construction de la nécessité d'un temps long.

Dans les épisodes fortement argumentatifs, la mobilisation du trilogue argumentatif de Plantin (1996, 2005) nous a permis d'identifier les *questions argumentatives* construites au cours de ces épisodes. Dans la séquence correspondant à la présentation du premier groupe, nous avons indiqué que la question argumentative n'était pas thématifiée alors qu'elle le sera dans la séquence correspondant à la présentation de deuxième groupe. Plantin (1996, p. 15-17) distingue plusieurs types de questions :

- la question principale qui « *définit l'enjeu officiel de la rencontre* » (*ibid.*, p. 15) ;
- les questions dérivées « *dont le traitement apparaît comme nécessaire dans le cadre du traitement de la question principale* » (*ibid.*, p. 16) ;
- les questions déplacées qui « *n'ont pas de lien avec la question principale* » (*ibid.*, p. 17).

Dans les deux épisodes analysés, nous avons à faire avec deux questions dérivées : quels sont les mécanismes qui permettent de rendre compte des modifications génétiques adaptatives ? ; quelles sont les causes des modifications génétiques ? Du point de vue des savoirs à faire construire aux élèves, seule la seconde question a une pertinence épistémique. C'est une question scientifique et elle correspond effectivement à une question que la professeure veut voir traiter par la classe. La première question peut devenir pertinente, d'un point de vue épistémique, si elle est posée au niveau des populations et pas seulement au niveau de l'individu. Ainsi, pour les élèves qui n'envisagent pas ou ne peuvent pas poser cette question au niveau des populations, la question a du sens.

3/ Au sein des épisodes argumentatifs et dans la construction des explications des élèves, nous avons repéré différentes stratégies argumentatives mises en œuvre. Nous avons constaté qu'elles étaient relativement variées aussi bien au niveau de la dynamique argumentative que du type d'arguments utilisés (tableau 5-12).

Tableau 5-12. Catégorisation des raisonnements produits par les élèves dans le processus de problématisation (débat mécanisme de l'évolution – 1^{re} ES)

Type de raisonnement	Occurrence dans le débat	Épisodes concernés
Raisonnement par analogie	1	E2-4
Raisonnement par l'inacceptable	1	E3-1
Raisonnement par l'exemple	5	E2-3 (le bronzage), E3-1 (les insectes), E5-7 (ce qui sert/sert à rien chez l'homme ; les cornes chez les animaux), E6 (maladies génétiques)

Dans ce débat, il convient de noter la place importante des arguments qui font appel à des cas particuliers qu'il s'agisse d'argumentation par l'exemple ou d'illustration. Ces arguments sont associés à une dynamique de décontextualisation / recontextualisation. Cette dynamique joue un rôle important dans ce débat puisqu'elle permet aux élèves de construire un champ de référence qui n'est pas donné au départ. Ainsi, alors que Rebière, Schneeberger et Jaubert ont mis en évidence un « *travail de réduction du champ de référence* » (2009, p. 299-301) dans certains débats analysés, nous constatons, dans l'exemple qui nous intéresse, un premier temps de construction d'un champ de référence au sein duquel les élèves puiseront de quoi étayer leurs argumentations. Il nous semble que l'on peut mettre ce constat en relation avec la situation proposée aux élèves qui est très ouverte d'une part, et les connaissances spontanément mobilisables par les élèves sur les questions de l'évolution qui au contraire sont réduites, d'autre part (ce qui distingue cette situation de celle relative aux questions de nutrition abordée dans le chapitre 4).

Ces différents processus permettent de passer d'énoncés premiers incomplets, constitués de bribes de genres différents propositionnels peu problématisés, à des explications qui prennent une forme narrative appuyée sur des contraintes empiriques et théoriques (plus ou moins explicitées) et des nécessités sur le modèle. Ce processus correspond, à la fois, à une activité de problématisation sur le plan épistémologique et sur le plan langagier à une secondarisation, même si la mise en texte du savoir ne renvoie pas à un format relevant du champ scientifique (plutôt celui de la vulgarisation scientifique, ce qui nécessiterait des investigations supplémentaires). Ainsi au final, les deux explications ont une forme narrative et proposent le récit de l'apparition de nouvelles espèces. En témoigne d'ailleurs la présentation proposée par le dernier groupe qui prend d'emblée la forme d'une histoire.

4/ Pour terminer cette discussion, nous souhaitons revenir sur la façon dont trois éléments interviennent dans les explications des élèves :

- l'adaptation ;
- le milieu ;
- le temps.

4-1/ L'intervention de l'adaptation dans les explications des élèves : outil/obstacle ?

Dans les deux explications construites par les élèves, nous avons indiqué que le fait d'adaptation n'est pas mis en question. Comme la structure narrative dont nous venons de parler, il joue un double rôle d'outil et d'obstacle. C'est un outil dans le sens où il permet aux élèves de poser le problème, il constitue, pour reprendre la métaphore de Wittgenstein, un gond autour duquel les élèves vont pouvoir s'engager dans le processus de problématisation. C'est parce que le fait d'adaptation est hors-question que l'activité de problématisation peut s'enclencher, même si en retour le processus de problématisation éclaire d'une nouvelle façon ce fait adaptatif⁵⁴.

Le fait adaptatif non discuté est le produit d'une « *vision quasi structurelle de la nature, où chaque espèce occupe une place bien définie* » (Fortin, 2000, p. 95). En ce sens, il a le statut d'obstacle puisque les explications des élèves, même si elles ont une dimension transformiste, se développent dans un monde qui a une certaine fixité. En effet, il nous semble que la non mise en discussion du fait adaptatif indique une conception d'un monde harmonieux, où les êtres vivants sont en équilibre avec le milieu de vie. Or Rumelhard (1994), à propos des études didactiques sur la régulation, précise que cette conception du monde est un obstacle (Rumelhard parle de « *l'obstacle de l'harmonie* ») à la construction de savoirs scientifiques dans la mesure où « *cette vision mythologique du monde est en correspondance avec une attitude de contemplation et un refus d'analyse et d'étude scientifique* » (*ibid.*, p. 45). Il nous semble que cette conception du monde renforce la présentation continuiste de l'histoire des êtres vivants puisqu'elle s'oppose à l'idée de crise ou à celle des disparitions complètes de certaines espèces. L'obstacle de l'harmonie, comme l'obstacle de la métamorphose lorsqu'il concerne l'évolution, conduisent à une négation du temps, au sens historique du

⁵⁴ On retrouve ici la différence problématologique de Meyer : pour s'interroger sur le fait adaptatif (dans une dimension problématologique), il convient dans un premier temps de la considérer comme hors question, comme apocritique. Meyer prend l'exemple de la Révolution française pour développer cette thèse (1993, p. 52-53).

terme, c'est-à-dire de son rôle comme « *agent de l'organisation des formes vivantes* » (Rumelhard, 1995, p. 338).

Dans ce sens, le fait adaptatif non questionné constitue un obstacle à la construction du concept d'évolution puisqu'il oriente l'activité de problématisation des élèves vers la recherche d'explications téléologiques, seul moyen d'articuler apparition de nouveaux caractères et les modifications du milieu de vie en dehors de la mobilisation du concept de sélection naturelle.

4-2/ L'intervention du milieu dans les explications des élèves.

Dans les analyses épistémologico-langagières conduites sur les deux explications des élèves, nous avons fait référence au milieu de vie. Mais il nous semble que dans les deux explications proposées par les élèves, il ne s'agit pas du même milieu. Précisons un peu les conceptions du milieu de vie mobilisées par les élèves à partir du rôle qui leur est attribué dans les deux explications.

Dans la première explication, le milieu est considéré comme « *un ensemble de paramètres qui existent indépendamment des êtres vivants* » (Rumelhard, 2007, p. 519). Le milieu, à travers certaines caractéristiques, exerce une pression sur les êtres vivants qui sont ou non adaptés. Ainsi, les êtres vivants subissent les contraintes externes du milieu et doivent s'y adapter pour retrouver un état d'équilibre harmonieux.

Dans la seconde explication, il nous semble que les élèves commencent à envisager une relation entre l'être vivant et son milieu de vie qui tend vers une relation fonctionnelle entre les êtres vivants et le milieu de vie⁵⁵. Même si les élèves ne font pas appel au concept de sélection naturelle pour lier, comme dans le modèle darwinien, les innovations et leur devenir, le milieu joue un rôle dans le devenir des caractères nouvellement apparus. Le lien est établi par les élèves via l'idée d'utilité/ d'usage qui subit un déplacement au cours du débat. Dans un premier temps, l'utilité du nouveau caractère est considérée d'un point de vue intrinsèque qui, de ce fait, a une dimension téléologique. Mais rapidement, les élèves articulent l'idée d'usage et d'utilité au milieu de vie. Ainsi certains caractères peuvent se maintenir si l'être vivant est amené, compte tenu du milieu, à en avoir l'utilité. Toutefois, cette relation entre le milieu et l'être vivant n'est pas suffisamment travaillée lors du débat scientifique pour pouvoir être

⁵⁵ Rumelhard précise d'ailleurs que « *le concept de milieu est précisément, ou plutôt devrait être conçu comme le concept d'une relation* » (2007, p. 518).

conceptualisée⁵⁶. Ainsi, il est probable que les élèves en restent à une conception commune du milieu.

4-3/ Le temps dans les explications des élèves.

Comme nous l'avons précisé dans l'introduction de ce chapitre, la biologie historique a pour spécificité de faire intervenir le temps dans les explications produites. Nous avons repéré trois interventions possibles du temps dans les explications des élèves :

a/ Le temps intervient dans le format des explications choisies qui prennent la forme d'un récit impliquant/reposant sur un raisonnement séquentiel. Nous avons montré, dans cette étude, qu'il centre les élèves sur la prise en compte d'une série d'individus dans le temps. Cela exclut, dans un premier temps (dans des raisonnements séquentiels « simples » comme ceux que nous avons décrits), les séries horizontales d'êtres vivants (figure 5-4). Pour pouvoir passer à une pensée évolutionniste, les élèves vont devoir passer du raisonnement sur des séries d'êtres vivants à un raisonnement dans le plan qui intègre ces deux séries (le raisonnement sur des espèces)⁵⁷.

b/ Le temps intervient, dans l'explication du groupe 1, pour rendre possible des modifications génétiques dont l'enseignante pointe l'impossibilité biologique. On voit intervenir ici un « *temps magique* » qui rend toute transformation possible, sans contrainte, sans limite. C'est pourtant sur la base d'un tel raisonnement que les élèves construisent la nécessité d'un temps long.

c/ Dans la troisième explication, c'est une forme différente du temps long qui est envisagée : il joue un rôle discriminant dans le maintien ou la disparition de certains caractères en relation avec l'usage ou l'utilité des caractères. Dans ce sens, il commence à intervenir comme une composante du processus évolutif. Mais comme les élèves ne pensent pas à l'échelle de la population, ils en restent à une explication transformiste des êtres vivants.

⁵⁶ Rumelhard précise que cette conception du milieu, entendu comme une relation fonctionnelle entre le vivant et le milieu de vie nécessite « *un effort de conceptualisation c'est-à-dire aussi de déconstruction des obstacles* » (2007, p. 530) dont la chosification du concept de milieu, à en faire « *un objet observable et ayant leur propriétés* » (*ibid.*, p. 529).

⁵⁷ Comme le précise Orange et Orange (1995), il ne s'agit pas « de dépasser le raisonnement séquentiel en évacuant le temps ».

2.4. Conclusion

La problématisation scolaire étudiée dans une classe de première ES est éloignée de la norme épistémologique prise pour référence. Nous avons indiqué, au fil du texte, certaines raisons qui peuvent expliquer la difficulté à s'engager dans une problématisation sur cette question. Dans ce cas, les élèves réussissent, à partir des savoirs scolaires disponibles en génétique, à construire l'impossibilité d'une modification de l'information génétique adaptative. Par contre, le niveau d'organisation (celui de l'individu ou du type) à partir duquel les élèves s'attaquent à cette question ne leur permet pas de construire le problème dans un paradigme évolutionniste (le concept d'espèce qui intègre une série d'êtres vivants dans le temps et dans l'espace est une condition de possibilité de l'évolution, cf. section 1.1.2.). Ici, les élèves produisent des explications dans un paradigme transformiste. Cela pose la question didactique des conditions de possibilité pour engager les élèves à travailler au niveau des populations et des espèces et donc du passage d'un paradigme à un autre (qu'est-ce que cela nécessite comme réorganisation au niveau du cadre épistémique : quels sont les outils cognitifs nécessaires pour pouvoir penser l'évolution ?). Cette question est d'autant plus intéressante que les concepts biologiques à disposition des élèves sont construits au niveau des organismes et non des populations (comme dans le cas de la génétique par exemple) : quels outils ont-ils à disposition pour penser en termes d'espèces, c'est-à-dire d'un ensemble de séries d'individus dans le temps et dans l'espace ?

Les analyses épistémologico-langagières menées nous ont permis :

1/ De montrer le rôle particulier joué par les argumentations par l'exemple dans ce débat (nous n'avons pas identifié ce type d'argumentation dans le débat sur la nutrition). Elles permettent, aux élèves, de construire un monde possible partagé à partir duquel ils vont pouvoir débattre : il faut bien de la matière pour parler. Mais la difficulté vient des exemples choisis qui ont plus pour fonction d'illustrer certaines idées que de donner lieu à une discussion critique : l'exemple du bronzage est caractéristique.

2/ De pointer que les mécanismes de mise à distance des énoncés (par l'intermédiaire des marqueurs de position énonciative, de modalisation) permettent une décentration par rapport à ce qui est dit, de douter⁵⁸. Comme nous l'avons mis en évidence dans cette étude, c'est une façon, pour les élèves de première ES, d'entrer dans un travail critique dans la double dimension langagière et épistémologique (sur les objets et le discours tenu sur ces objets).

⁵⁸ « *Le déclencheur de l'activité argumentative est la mise en doute d'un point de vue* » (Plantin, 2005, p. 52).

3/ De montrer que l'orchestration de l'hétéroglossie ou du dialogisme participe à deux mécanismes intéressants au niveau du travail des savoirs en jeu :

- soit ils obligent les élèves à négocier pour que les différentes voix en présence puissent s'accorder. Cela nécessite de discuter des énoncés, de les comparer, de mesurer leur compatibilité ce qui met au travail les savoirs en question ;
- soit cela conduit à une dissociation des voix (ce qui oblige dans un premier temps à les expliciter) en thèses dont les élèves prennent conscience de l'incompatibilité. Cela peut permettre de construire une question plus ou moins thématique qui sera l'objet d'un épisode argumentatif.

Dans les deux cas, l'obligation faite aux élèves de considérer attentivement les contenus des énoncés, leur compatibilité, incompatibilité, de réfléchir à des arguments... Cela met les savoirs au travail et permet, en même temps qu'ils le font, le développement d'une activité de problématisation.

3. Le concept d'ancêtre commun avec un groupe d'étudiants préparant le concours de professeur des écoles⁵⁹

3.1. Intérêt pour la recherche, intérêt didactique

Comme nous l'avons montré, à la suite d'autres (Fortin, 2000 ; Crépin, 2002), les élèves mobilisent des structures narratives transformistes. Nous avons voulu concevoir un dispositif d'enseignement/apprentissage qui permet de confronter les élèves/les étudiants aux limites de cette structure linéaire. Compte tenu des programmes du concours et puisque nous voulions mettre en œuvre ce dispositif avec des élèves d'âges différents, nous avons choisi d'aborder la question de l'évolution des espèces, du côté de la phylogénie et non des mécanismes de l'évolution (même si ces mécanismes sous-tendent la phylogénie). Il nous a semblé intéressant de travailler le concept d'ancêtre commun hypothétique qui constitue une des notions essentielles de la théorie de l'évolution (Heguerta, 2006, p. 48). Ce concept permettra aux élèves et aux étudiants de comprendre la classification scientifique du vivant, organisée comme un ensemble emboîté (Lecointre, 2004), où l'on classe « *dans un même groupe des organismes qui partagent des caractères homologues* » ; l'ensemble de ces attributs qu'ils partagent « *leur a été transmis par voie héréditaire par un ancêtre commun* » (Lecointre, 2004, p. 65). Comme nous l'avons précisé précédemment, un ancêtre commun représente « *les parents dont les descendants non identiques, se sont séparés pour constituer deux espèces différentes. [...] Il s'agit d'une fiction qui résume simplement une très large diversité d'hypothèses concernant les événements susceptibles d'aboutir à l'émergence d'une nouvelle espèce et dont la plupart sont impossibles à préciser* » (Heguerta, 2006, p. 50).

De plus, nous voulions confronter les élèves et les étudiants à une situation plus contrainte que la situation précédente. Nous avons choisi, comme support à cette situation, l'histoire de la lignée humaine. En effet, des travaux antérieurs en didactique des SVT ont établi que les élèves expliquent l'apparition de l'homme moderne à partir du singe par une série de transformations régulières, définies par Fortin comme une

⁵⁹ Une partie de cette étude a fait l'objet d'une communication lors des cinquièmes journées scientifiques de l'ARDIST (Lhoste, 2007).

évolution intraspécifique (2000, p. 92), généralisée ensuite « à une évolution supraspécifique. Le passage d'une classe à une autre est alors assuré par des "transmutations" des Poissons aux Mammifères » (*ibid.*, p. 93). Ces explications « en termes d'histoire évolutive tendent à la concevoir [l'apparition de l'homme] comme un lent mouvement de perfectionnement de nos adaptations au cours du temps » (Tattersall, 2003, p. 137). Comme le rappelle Gould (1991/1998, p. 30) : « la marche du progrès est la représentation archétypale de l'évolution – son image même, immédiatement saisie et instinctivement comprise par tout le monde ». Ainsi, il nous a semblé que l'exemple de l'apparition de l'homme pouvait être un exemple prototypique pour construire le concept d'ancêtre commun hypothétique, puisqu'à la convergence de plusieurs difficultés : la difficulté de penser l'espèce humaine comme une espèce vivante comme une autre peut venir s'ajouter à la difficulté de penser que les mécanismes de l'évolution expliquant son apparition sont les mêmes que ceux qui régissent l'évolution de tous les êtres vivants⁶⁰.

Nous allons maintenant présenter le dispositif mis en œuvre dans différentes classes, dispositif qui ne vise pas à apprendre aux élèves/étudiants les principes de construction d'un arbre phylogénétique, mais qui sert de prétexte pour comprendre comment les élèves conçoivent les filiations entre espèces et peuvent, on non, construire le concept d'ancêtre hypothétique commun.

3.2. Le dispositif d'enseignement et le corpus de données

Le dispositif mis en œuvre a été conçu dans le cadre d'un groupe de formation action (GFA) de l'IUFM de Basse-Normandie réunissant des chercheurs en didactique des SVT et des professeurs du second degré⁶¹. Le dispositif, initialement mis en œuvre dans des classes de 4^e (13-14 ans), a été proposé à vingt étudiants du centre de Saint-Lô de l'IUFM de Basse-Normandie (séance de travail d'une heure et demie) préparant le concours de professeur des écoles avec une majeure *Sciences expérimentales et technologie*. Ces étudiants sont, pour la plupart, issus d'une série scientifique du

⁶⁰ Le terme d'hominisation, forgé pour rendre compte du processus d'apparition de l'homme, peut venir renforcer « l'impression que non seulement notre espèce est unique en son genre, mais que le mécanisme évolutif qui nous a façonné l'est tout autant » (Tattersall, 2003, p. 137).

⁶¹ Nous tenons remercier à ici les collègues enseignants du second degré de l'académie de Caen impliqués dans le groupe de formation action (GFA) « *Problématisation et apprentissage en SVT* », en particulier Sandrine Faure, Collège André Maurois de Deauville (14) ; Jean-Philippe Canu, Collège Charles Lemaître d'Aunay sur Odon (14) et Armelle Roland, Collège Jean Macé d'Argences (14).

baccalauréat (14 étudiants sur les 20). Cinq ont réalisé un cursus universitaire en biologie, cinq en mathématiques, quatre en STAPS et les six en lettres, langues ou sciences humaines. La plupart des étudiants de ce groupe ont une formation scientifique du niveau de la classe de terminale où le thème de l'évolution a été abordé.

Le questionnement concerne l'histoire de l'apparition de l'homme. Il se développe à travers cinq phases de travail.

3.2.1. Le dispositif de formation

3.2.1.1. Premier temps de travail : une évaluation diagnostique

Les étudiants sont invités à produire un schéma et un texte où ils doivent expliquer comment l'homme moderne est apparu sur Terre.

3.2.1.2. Deuxième temps de travail : la confrontation à un corpus de données

Pour confronter les étudiants aux limites des explications narratives et contraindre la situation, les étudiants sont confrontés à un corpus de documents présenté en annexe 8. Pour cela, nous avons choisi trois espèces de la façon suivante : nous avons choisi deux espèces actuelles et une espèce fossile de sorte que l'espèce fossile (l'australopithèque) et une espèce actuelle (homme moderne) appartiennent à un groupe monophylétique auquel n'appartient pas la deuxième espèce actuelle (le singe). Cela empêchera la construction d'une histoire linéaire lorsque l'on introduira le respect d'une contrainte de temps dans la tâche proposée aux élèves. Nous avons choisi l'homme moderne et le chimpanzé comme espèces actuelles et *australopithecus afarensis* comme espèce fossile.

À partir du corpus de documents, les élèves et le formateur font une comparaison à partir de caractères présentés qui, pour chaque espèce, correspondent à un état primitif ou un état dérivé :

- le plan d'organisation (les trois espèces étudiées ont le même plan d'organisation qui constitue un caractère dérivé par rapport à des plans d'organisation plus ancestraux)
- le volume cérébral (caractère primitif : faible volume crânien ; caractère dérivé : volume crânien élevé) ;

- la forme du bassin, du tibia et de l'angle fémuro-tibial qui indiquent le mode de locomotion régulier (caractère primitif : quadrupédie ; caractère dérivé : bipédie) ;
- la forme de la mâchoire inférieure (caractère primitif : forme en U ; caractère dérivé : forme en V) ;
- l'épaisseur de l'émail des dents (caractère primitif : émail épais ; caractère dérivé : émail mince).

Le tableau 5-13 récapitule le travail ces différentes données. La comparaison est réalisée avec tout le groupe, même si les notions de caractère primitif et de caractère dérivée ne sont pas énoncées dans le temps de la formation.

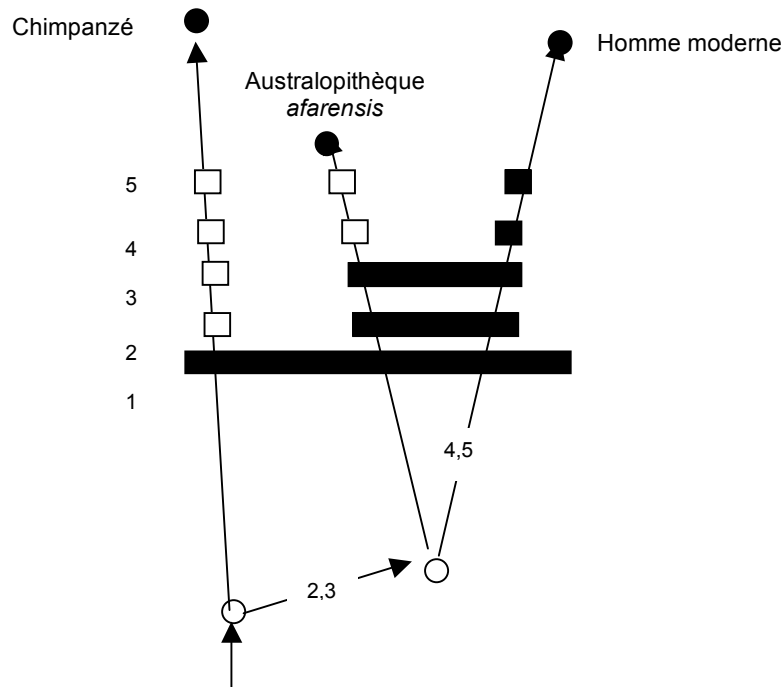
Tableau 5-13. Comparaison de différents caractères chez l'homme moderne, le chimpanzé et l'australopithèque

Caractères comparés	Homme moderne	Chimpanzé	Australopithèque
Plan d'organisation (1)	<i>Caractère dérivé</i>	<i>Caractère dérivé</i>	<i>Caractère dérivé</i>
Volume crânien (5)	1 300 à 1 500 cm ³ <i>Caractère dérivé</i>	380-440 cm ³ <i>Caractère primitif</i>	500 cm ³ <i>Caractère primitif</i>
Mâchoire inférieure (4) et épaisseur émail (3)	Mâchoire en V <i>Caractère dérivé</i> Dent à émail épais <i>Caractère dérivé</i>	Mâchoire en U <i>Caractère primitif</i> Dent à émail mince <i>Caractère primitif</i>	Mâchoire en U <i>Caractère primitif</i> Dent à émail épais <i>Caractère dérivé</i>
Forme du bassin, du tibia, angle fémuro-tibial (2)	Locomotion bipède <i>Caractère dérivé</i>	Locomotion quadrupède <i>Caractère primitif</i>	Locomotion bipède <i>Caractère dérivé</i>

Du point de vue du savoir scientifique actuel, la mise en œuvre des principes phylogénétiques présentés à la section 1.2. permet de construire l'arbre phylogénétique de la figure 5-11.

Figure 5-11. Relations de parenté entre les 3 taxons étudiés fondées sur 5 caractères, dans le cadre phylogénétique

1 : plan d'organisation ; 2 : mode de locomotion ; 3 : épaisseur de l'émail ; 4 : forme de la mâchoire ; 5 : volume crânien. En noir : état dérivé (= apomorphe) des caractères ; en blanc : état primitif (= plésioporphe).



Ainsi, compte tenu des taxons considérés, l'australopithèque, l'homme moderne et leur ancêtre commun hypothétique forment un groupe monophylétique partageant le caractère apomorphe bipède et émail épais. L'homme moderne, l'australopithèque et le chimpanzé ont hérité d'un ancêtre hypothétique commun le caractère dérivé : plan d'organisation.

Dans un troisième temps de travail, les élèves devront expliquer l'origine de l'homme moderne à partir de ce corpus de données.

3.2.1.3. Troisième temps de travail : reconstitution des relations phylogénétiques entre ces trois espèces

À partir de trois vignettes qui récapitulent les caractères étudiés de ces trois espèces, les étudiants doivent reconstituer, individuellement, sur une échelle de temps en abscisse, les relations généalogiques entre ces trois espèces. Les caractères étudiés et l'échelle temporelle jouent le rôle de contraintes de situation. Nous avons analysé les productions individuelles, ce qui nous a permis de constituer des groupes de stagiaires ayant établi des relations similaires entre espèces.

3.2.1.4. Quatrième temps de travail : un travail de groupe

À l'issue du deuxième temps de travail, cinq groupes d'étudiants ont été constitués. La composition des groupes est présentée dans le tableau 5-14.

Tableau 5-14. Composition des groupes d'étudiants

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Céline P. Nathalie Anne-Élisabeth Pierre Peggy	Fanny Anne-Sophie Pauline Céline H. Charlotte	Mélissa Tiphaine Floriane	Julien David Marie	Amandine Anne-Lise Raphaëlle Narayan

Chaque groupe d'étudiants doit, à partir des productions individuelles construites lors du deuxième temps de travail, produire une représentation des relations généalogiques des trois espèces. Les productions individuelles doivent être confrontées et mises en cohérence par rapport aux périodes d'existence des espèces étudiées introduites préalablement à ce temps de travail (tableau 5-15). C'est l'introduction de ces nouvelles contraintes de situation qui doit permettre aux étudiants de poser le problème de la structure linéaire de l'apparition de l'homme moderne.

Tableau 5-15. Période d'existence des différentes espèces

	Homme moderne	chimpanzé	australopithèque
Période d'existence de l'espèce	Espèce connue depuis 110 000 ans	Espèce connue depuis 550 000 ans	Espèce connue dans la documentation paléontologique entre 5 et 2,2 millions d'années

Une quinzaine de minutes sont nécessaires aux différents groupes d'élèves pour produire une nouvelle représentation qui répond aux mêmes contraintes que la production individuelle réalisée lors de l'étape précédente.

3.2.1.5. Cinquième temps de travail : le débat scientifique

Les différentes productions de groupe sont présentées oralement en grand groupe et elles sont soumises à une discussion critique.

3.2.2. Les données recueillies

Les analyses menées dans cette section ne reposent pas exactement sur le même corpus que pour les deux études précédentes (où nous nous étions limité à une étude du débat scientifique). C'est parce que le dispositif est relativement contraint que nous sommes obligé de prendre en compte les productions intermédiaires sans lesquelles le script du débat serait difficile à interpréter.

Ainsi, c'est toutes les productions individuelles et productions de groupe et le script du débat qui constituent notre corpus. Le tableau 5-16 récapitule les données recueillies.

Tableau 5-16. Les données *Ancêtre hypothétique commun* dans un groupe de PEI

<i>Temps de travail</i>	<i>Productions recueillies</i>	<i>Annexes</i>
Premier temps de travail	20 productions individuelles	Annexe 9
Deuxième temps de travail	18 productions individuelles ⁶²	Annexe 10
Troisième temps de travail	5 productions de groupe	Annexe 11
Quatrième temps de travail	Enregistrement vidéo de la discussion critique. La transcription a permis d'établir un script comportant 43 tours de parole.	Annexe 12

C'est ce corpus de données que nous allons analyser afin de comprendre la façon dont les étudiants vont pouvoir s'engager dans la construction du concept d'ancêtre commun hypothétique.

3.3. Analyse des productions des étudiants

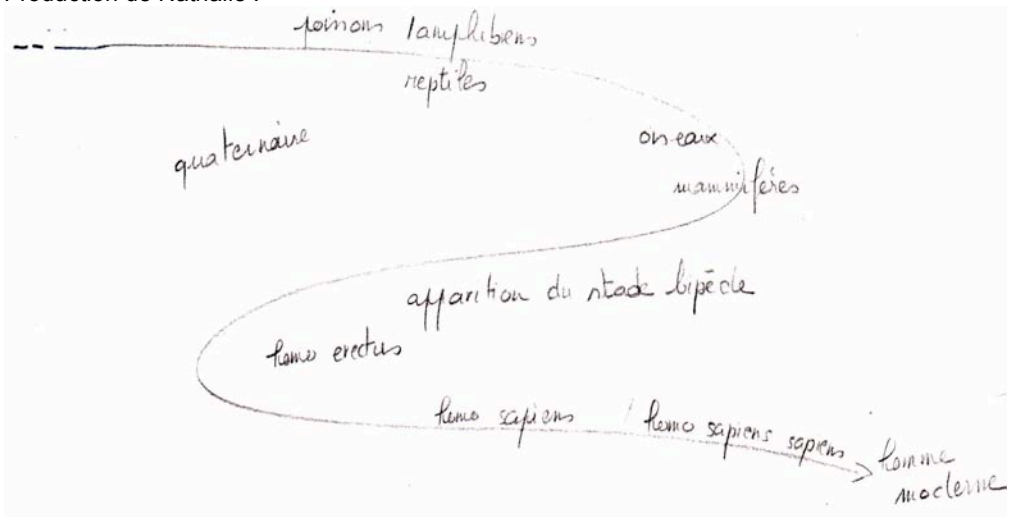
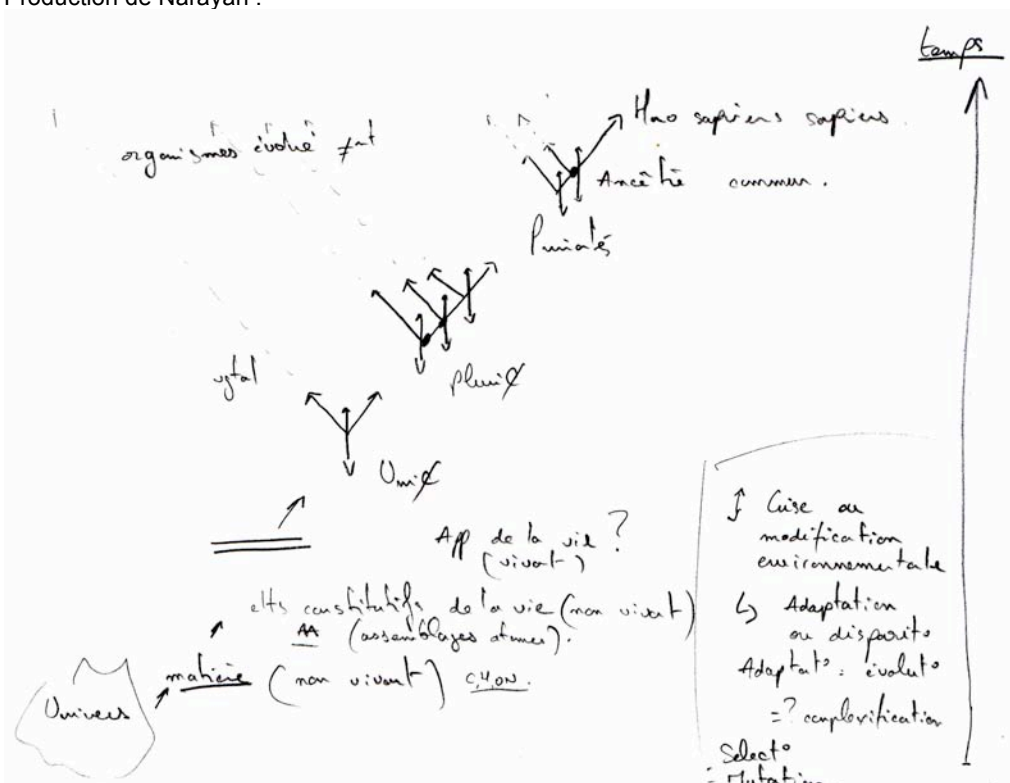
3.3.1. Les productions individuelles de la phase I

Parmi les vingt productions obtenues, trois ne présentent aucun texte mais uniquement un schéma. Les dix-sept autres font référence à un schéma et à un texte qui présente le plus souvent une liste d'items relatifs à l'apparition de l'homme moderne. Deux analyses distinctes ont été conduites sur ces premières données.

⁶² Deux productions ont été détruites par les étudiants lors du travail de groupe, leur production ayant servi de brouillon au cours de ce travail.

La première concerne la structure du schéma qui traduit l'histoire de l'homme. Deux types de représentation ont été trouvées et sont présentées dans le tableau 5-17, avec, pour chacune, une production représentative.

Tableau 5-17. Évaluation diagnostique - productions obtenues

<p>Type 1-1</p> <p>19 occurrences</p>	<p>Production de Nathalie :</p> 
<p>Type 1-2</p> <p>1 occurrence</p>	<p>Production de Narayan :</p> 

La seconde concerne les items trouvés dans les listes ou les textes produits. Le tableau 5-18 récapitule les 28 items trouvés par ordre de fréquence croissante.

Tableau 5-18. Items relatifs aux mécanismes qui ont conduit à l'apparition de l'homme moderne

Item	Occurrence
Idée de développement qui conduit à l'homme moderne : « <i>lorsque celui-ci s'est développé x a évolué, y a diminué, z s'est modifié</i> »	1
Découverte de nouveaux moyens pour vivre	1
Brassage génétique	1
Mutations dues à l'environnement	2
Évolution/modification génétique	3
Modification du milieu de vie	3 (dont une fois « <i>provoque une disparition de certaines espèces</i> »)
Idée de progressivité dans l'évolution	3
Mutations	4
Adaptation au milieu	10

Notons, tout d'abord, qu'aucune explication de type non-évolutionniste (« *absence affirmée d'une filiation entre les groupes d'animaux avec mobilité biologique à l'intérieur de chaque groupe* » [Fortin, 1994, p. 159]) ou anti-évolutionniste (ou créationniste, Fortin, 1994, p. 160) n'est proposée par les étudiants. La plupart des explications produites (de type 1-1 : 19 sur 20) par les étudiants renvoient à des conceptions transformistes de l'évolution, proches de celles trouvées chez les élèves de premier ES. Une production (celle de Peggy) fait explicitement référence à un développement ontogénique⁶³ (item : développement qui conduit à l'homme moderne). Les autres mobilisent généralement trois idées :

- celle de modifications des conditions de vie (3 occurrences) ;
- celle de modifications génétiques (qui apparaît 10 fois sous des formes diverses) ;
- celle d'adaptation aux conditions de vie (10 occurrences).

Ainsi, comme nous l'avons déjà mis en évidence pour les élèves de première ES, la transformation des espèces se fait progressivement (3 occurrences de cette idée) et résulte d'une adaptation au milieu, facteur prépondérant dans le processus évolutif (Audigier & Fillon, 1991, p. 126-127). Ainsi onze étudiants font référence à une adaptation des espèces au milieu qui change. Huit font appel aux mutations pour expliquer l'évolution des espèces. Certains précisent que les mutations sont finalisées par une adaptation au milieu : « *l'homme s'adapte à son environnement au fur et à mesure des millénaires par mutations* » (Julien) ; « *les gènes peuvent être modifiés par l'environnement* » (Tiphaine). Comme les élèves de première ES, les étudiants ont des difficultés à concevoir l'adaptation comme le produit des mécanismes génétiques qui permettent l'apparition de nouveaux caractères et de la sélection naturelle. Ils

⁶³ Sur le modèle du développement d'un individu.

conçoivent l'adaptation comme un processus et non comme une propriété émergente. C'est une difficulté identique à celle rencontrée par les élèves de première ES.

Un seul étudiant, Narayan dont la production est présentée dans le tableau 5-17, qui a un cursus de 3^e cycle universitaire en biologie cellulaire, produit un schéma qui fait référence à la notion d'ancêtre commun. L'utilisation de cette notion est associée à une représentation buissonnante⁶⁴ de la lignée humaine, puisqu'à partir de chaque ancêtre commun se séparent deux types d'organismes qui « *évoluent différemment* ». Il convient de préciser qu'en même temps qu'il mobilise un modèle évolutif buissonnant pour représenter les parentés entre les trois espèces, il indique ses doutes par rapport à certaines notions : adaptation, évolution, complexification (des signes égaux sont placés entre ces mots sur sa production).

Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus dans notre première étude de cas. Ils corroborent également les travaux publiés, et attestent de l'obstacle de la transformation facile (Rumelhard, 1995, p. 336-337, Orange & Orange-Ravachol, 2004, p. 31).

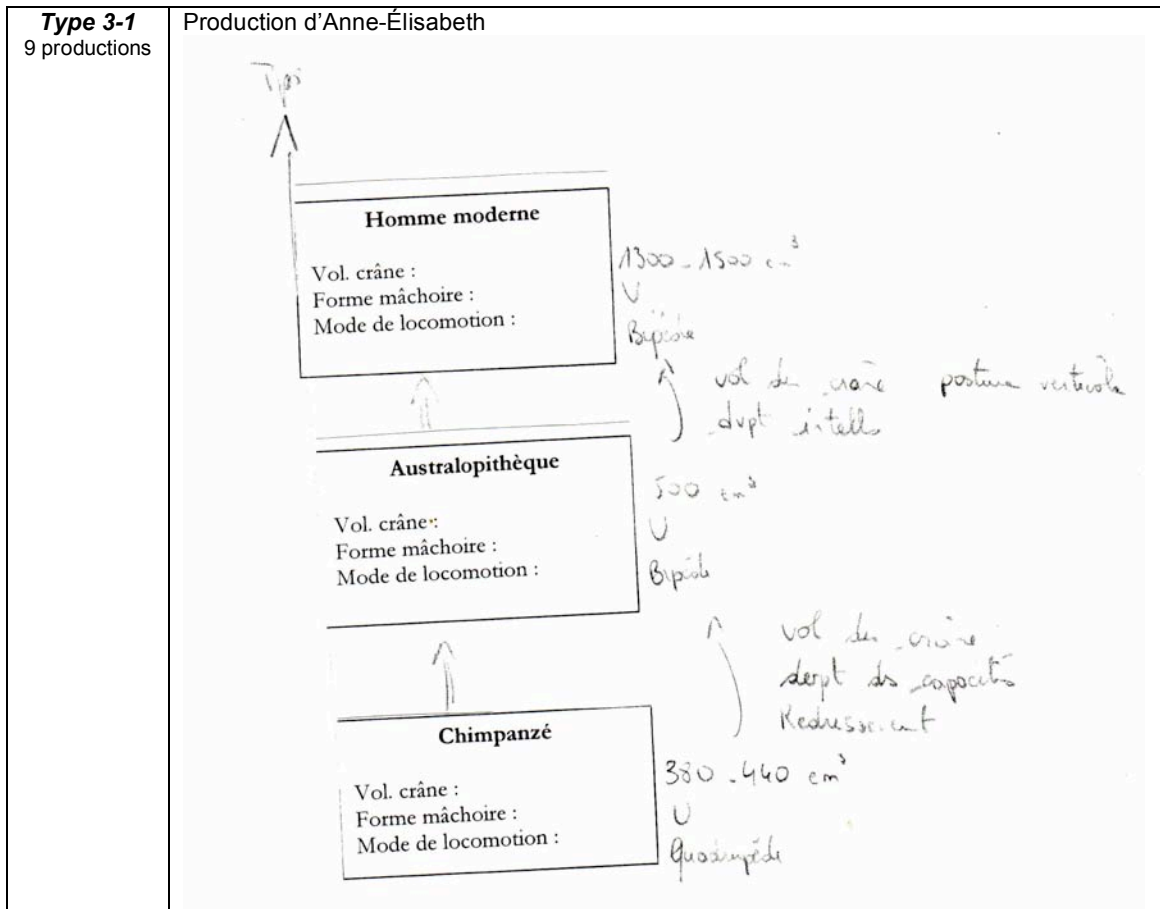
3.3.2. Les productions individuelles de la phase 3

3.3.2.1. Résultats

Le travail des étudiants confrontés au corpus de données (étude comparative de quelques caractères concernant l'homme moderne, le chimpanzé et l'australopithèque) donne lieu à la production de plusieurs types de représentations pour présenter les relations de parenté entre ces trois espèces. Le tableau 5-19 présente les différents types de productions proposées

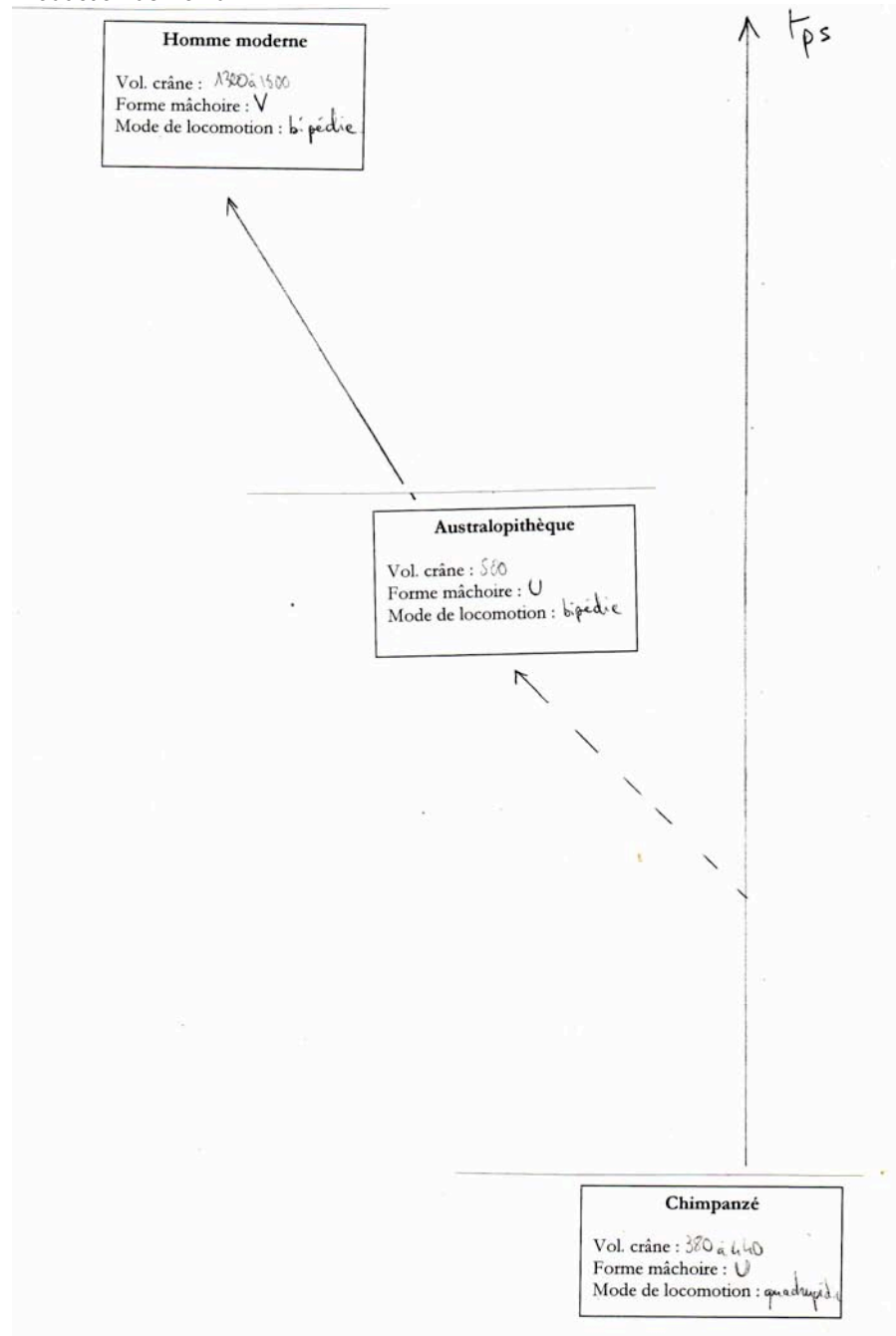
⁶⁴ « *L'évolution de la vie à la surface de la planète et conforme au modèle du buisson touffu, et continuellement élagué par le sinistre sécateur de l'extinction* » (Gould, 1991/1998, p. 34).

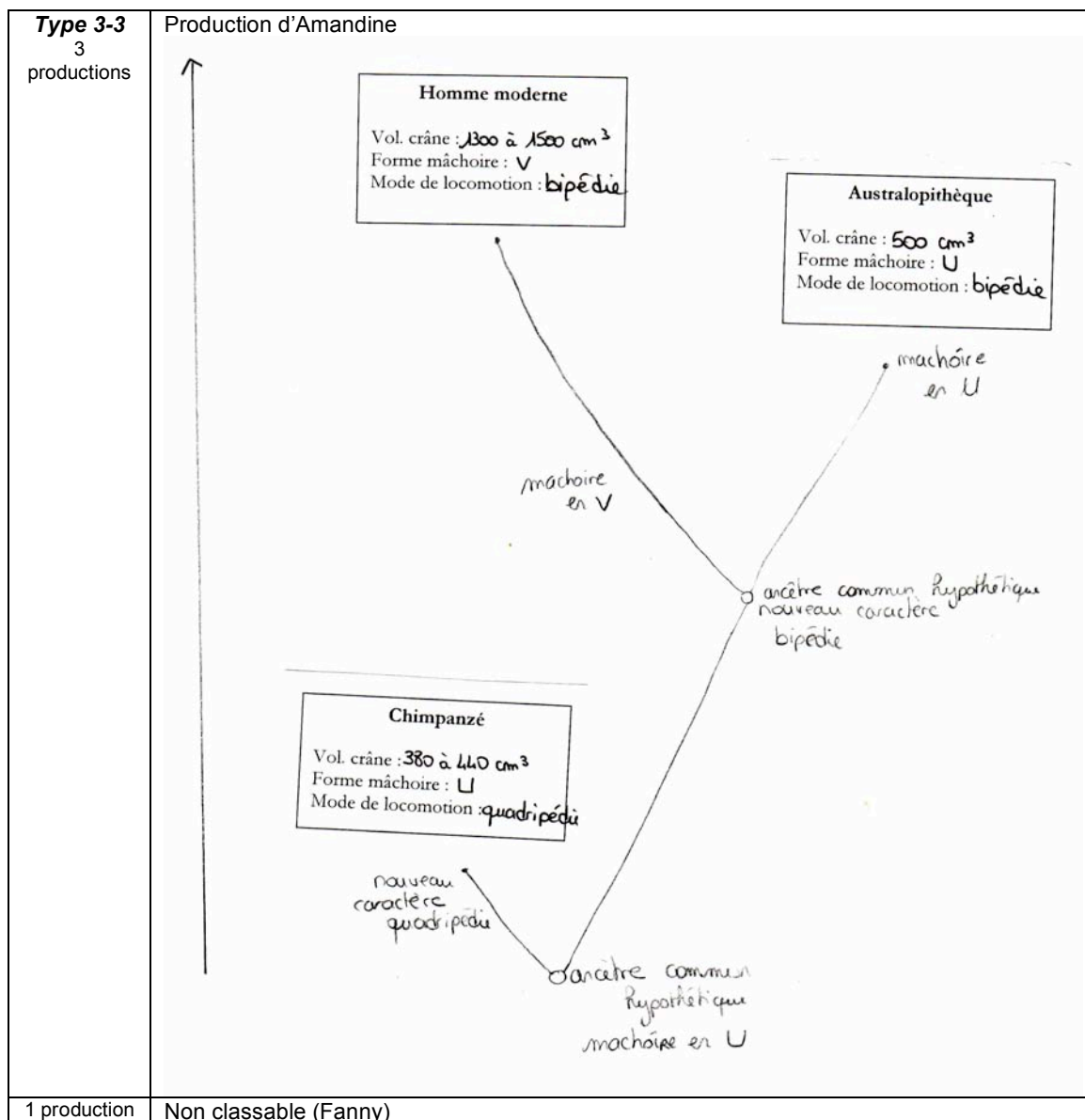
Tableau 5-19. Types de présentation des relations de parenté entre Chimpanzé, Australopithèque et Homme moderne



Type 3-2
5
productions

Production de David





Neuf étudiants, qui avaient produit une histoire linéaire des êtres vivants conduisant progressivement vers l'homme moderne, présentent une représentation de type 1 des relations de parenté entre le chimpanzé, l'australopithèque et l'homme moderne.

Six étudiants, ayant mobilisé au départ une explication linéaire de l'évolution de type 2, distinguent maintenant deux branches liées l'une à l'autre. La branche du chimpanzé se maintient jusqu'à présent et la branche de la lignée humaine « descend » du chimpanzé pour conduire, via l'australopithèque, jusqu'à l'homme moderne.

Enfin, trois étudiantes (Raphaëlle, Amandine et Anne-Lise)⁶⁵ mobilisent la notion d'ancêtre commun pour construire l'arbre présentant les relations de parenté entre les trois espèces (type 3). Soit elles placent un seul ancêtre commun à la base de deux

⁶⁵ Ces trois étudiants ont une licence en biologie.

branches qui mènent, d'un côté, au chimpanzé et de l'autre à l'australopithèque puis à l'homme ; soit elles placent deux ancêtre communs : un ancêtre commun au chimpanzé et un second ancêtre commun qui mène, d'une part, à l'homme et, d'autre part, à l'australopithèque (c'était aussi le cas de Narayan dont la production a été détruite au cours du travail de groupe). Raphaëlle mobilise deux ancêtres communs mais dans une autre organisation : l'homme moderne et le chimpanzé possèdent un ancêtre commun.

3.3.2.2. Discussion

Les structures des productions de type 3-1 sont identiques à celle des évaluations diagnostiques. L'ordre de succession est déterminé par la progressivité observée au niveau des caractères étudiés précédemment. L'idée de progrès associée à celle des transformations faciles semble l'élément déterminant dans l'organisation des arbres retenus. Comme le précise Gould, *« les proclamations en faveur du progrès sont emblématiques de la conception conventionnelle qui voit dans les tendances des entités en mouvement. De l'infinie diversité de la vie, nous isolons une entité censée représenter une essence platonicienne, telle la "complexité moyenne" ou "la plus complexe des créatures", puis nous suivons la prétendue croissance de cette entité au cours du temps. Nous qualifions ensuite de progrès cette tendance à l'accroissement, et nous nous enfermons dans l'idée que ce progrès est la dynamique fondamentale de toute évolution »* (Gould, 1997, p. 181). Ainsi, l'idée de progrès constitue, comme le note Peterfalvi, un obstacle à la construction du concept d'évolution car *« son orientation positive progressiste s'accorde mal à l'idée d'extinction d'espèces et de sélection »* (2009, p. 116).

Pour les autres élèves, il nous semble que la situation proposée permet une remobilisation de savoirs construits précédemment. Les étudiants qui ont une licence de biologie font appel à la notion d'ancêtre commun et construisent des arbres phylogénétiques ayant une structure canonique. Ils abandonnent le schéma linéaire présenté lors de l'évaluation diagnostique, même si leur schéma ne dit rien sur les processus de l'évolution. Plusieurs autres étudiants produisent des représentations qui ont une forme approchante et qui rompent partiellement avec une explication linéaire sans, pour autant, faire appel à la notion d'ancêtre commun. Ils maintiennent ainsi le chimpanzé jusqu'à maintenant et de font disparaître l'australopithèque qui devient l'homme moderne. C'est à partir de ces productions que les groupes ont été constitués (type 3-1 : groupe 1 et 2 ; type 3-2 : groupe 3 et 4 ; type 3-3 groupe 5). Avant d'engager le travail de groupe, les périodes d'existence des espèces (tableau 5-15) sont présentées

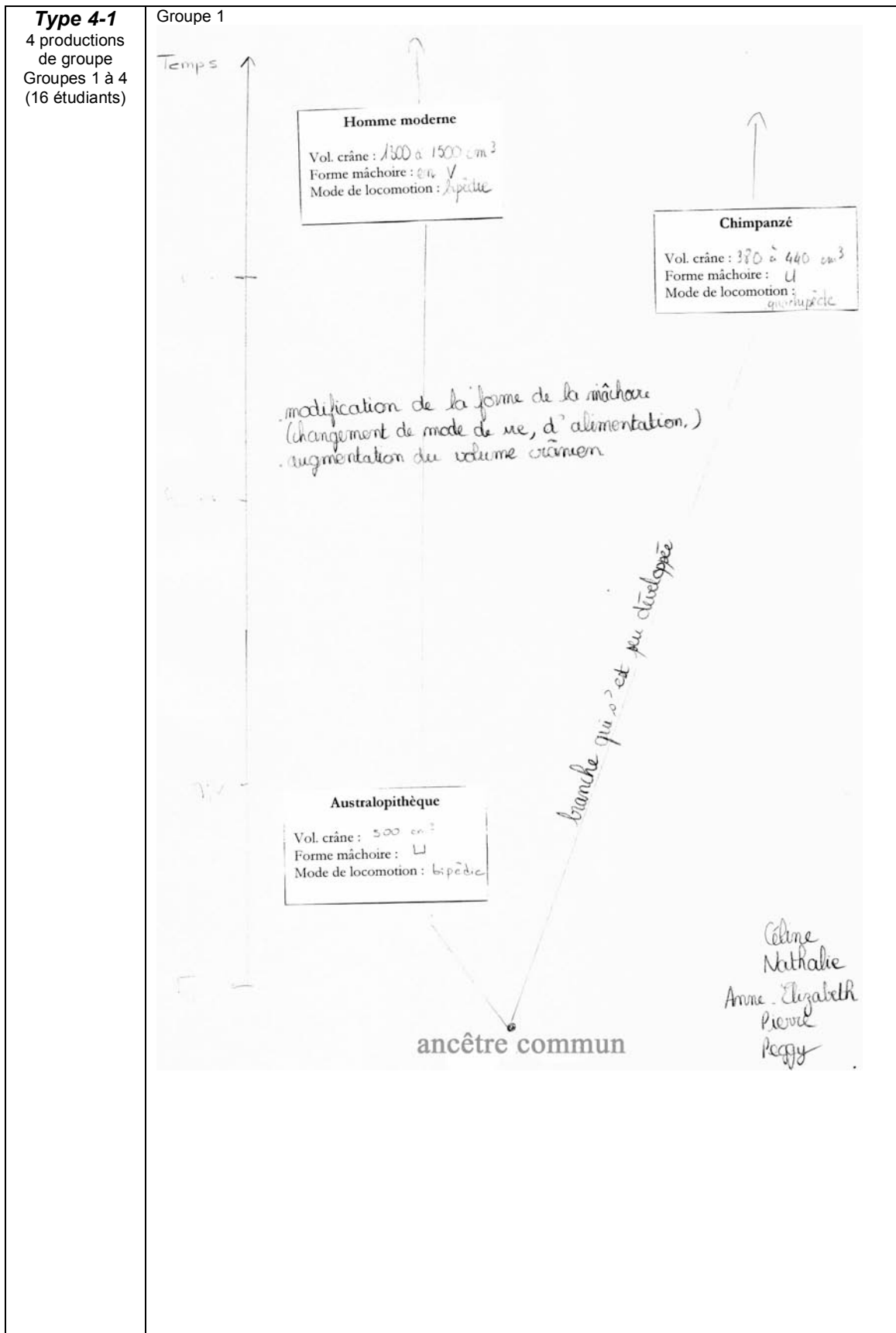
aux étudiants et on leur demande, pendant le travail de groupe, de prendre en compte cette nouvelle contrainte.

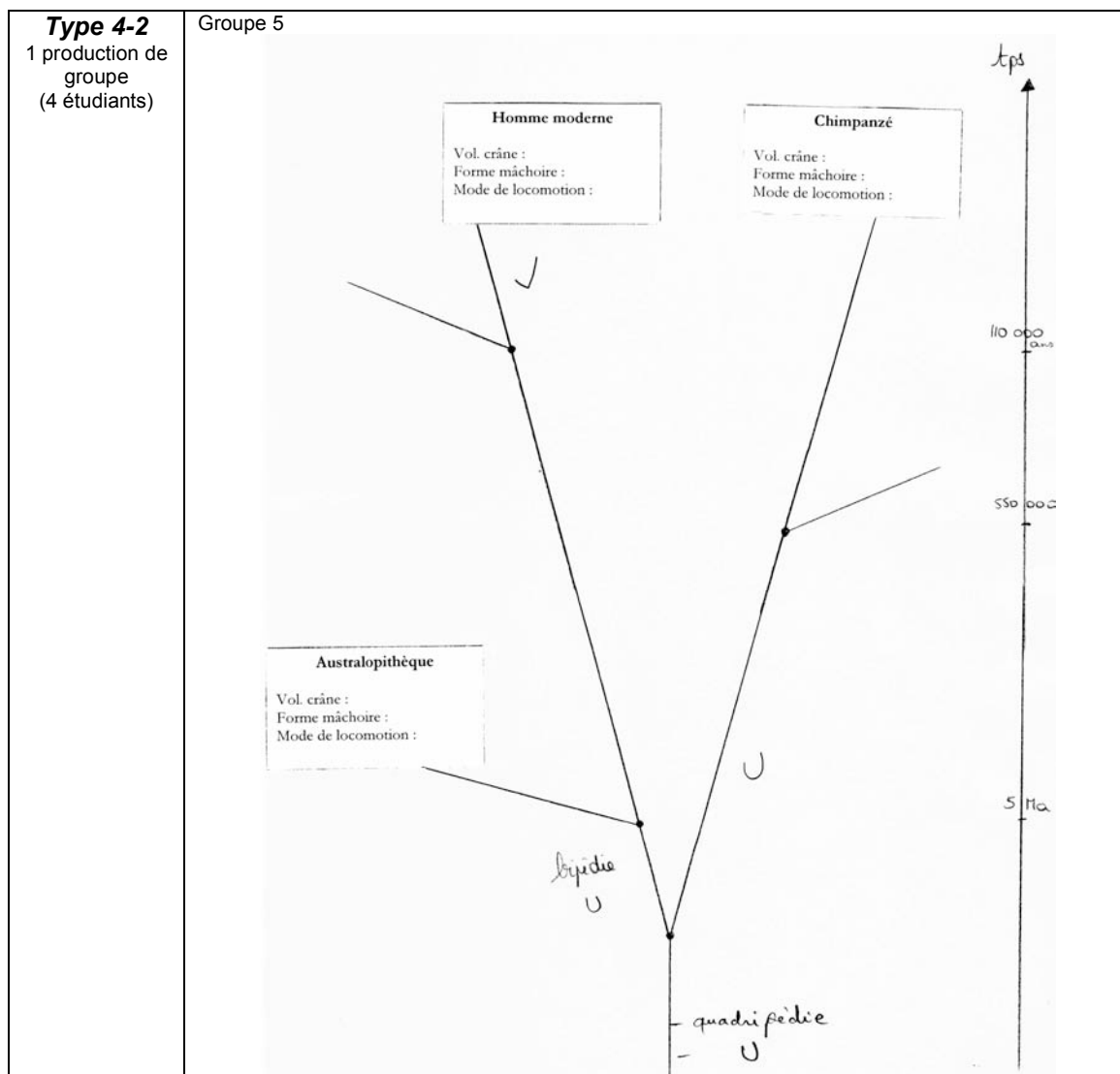
3.3.3. Les productions de groupe (phase 4)

3.3.3.1. Résultats

La prise en compte de la contrainte « période de vie connue » conduit à une modification importante des productions des étudiants puisque toutes les productions obtenues à l'issue du travail de groupe sont de deux types, présentés dans le tableau 5-20.

Tableau 5-20. Représentations obtenues à l'issue du travail de groupe





Les groupes d'étudiants qui présentent une représentation de type 4-1 font appel à un ancêtre commun à partir duquel deux lignées se séparent, l'une donnant le chimpanzé, l'autre l'homme moderne, via l'australopithèque⁶⁶. La production 4-2 mobilise deux ancêtres communs et les étudiants ont précisé les caractères que devait présenter cet ancêtre commun.

Ainsi, à la suite du travail en groupe, les cinq groupes font appel à la notion d'ancêtre commun pour représenter l'histoire évolutive des espèces étudiées.

⁶⁶ Ces étudiants présentent une explication par évolution intraspécifique pour expliquer le passage de l'australopithèque à l'homme moderne.

3.3.3.2. Discussion

Il nous semble que ces premiers résultats montrent l'intérêt de la situation proposée pour confronter les étudiants au problème de la reconstitution d'une histoire évolutive. En effet, le dispositif oblige les étudiants à rompre avec une schématisation linéaire de l'histoire évolutive. Cependant, cette rupture au niveau de la schématisation ne dit rien de la construction des concepts associés à cette façon de reconstituer les relations de parenté entre êtres vivants.

Pour commencer, nous remarquons que les quatre groupes d'étudiants proposant une représentation du type 4-1, font appel à un seul ancêtre commun (ancêtre commun au chimpanzé et à la lignée humaine), alors que dans la représentation 4-2, le groupe y fait appel deux fois. Cela pourrait indiquer, dans le second cas, une reconstruction plus opératoire de la nécessité de l'ancêtre commun pour expliquer l'histoire évolutive des espèces. L'analyse de la discussion critique devrait nous permettre de comprendre comment les élèves construisent l'ancêtre commun et sa valeur épistémique. En effet, du point de vue de la problématisation, l'ancêtre commun pourrait être une solution qui permet aux étudiants de résoudre la tâche à laquelle ils sont confrontés, sans pour autant en faire un concept opératoire, c'est-à-dire sans qu'ils soient remontés aux nécessités qui fondent ce concept. D'autre part, il s'agit également de savoir, au cas où des nécessités seraient construites, si elles sont suffisamment stables pour se propager et venir contrôler les solutions proposées en réponse à un problème similaire. Cela nous permettra d'établir différents degrés de construction des nécessités qui témoignent, selon nous, de la conceptualisation du concept par les étudiants. C'est l'enjeu de l'analyse de la discussion critique.

3.4. Analyse épistémologico-langagière et discussion des résultats

Compte tenu des contraintes de temps liées à la formation, le formateur a choisi de ne pas présenter les productions des cinq groupes, mais seulement une production de type 4-1 (celle du groupe 1, présentée dans le tableau 5-20) et la production de type 4-2. Peggy va présenter la première production et Narayan la seconde. Cela donne lieu à un débat que nous allons analyser maintenant.

Comme le débat est très court (43 tours de parole), nous ne présenterons ni analyse thématique du débat, ni macrostructure. Nous nous limiterons à une analyse

épistémologico-langagière afin de déterminer les savoirs au travail et comment ils sont travaillés dans/par le langage.

3.4.1. La présentation de la première affiche et la discussion à son propos

Le tableau 5-21 rend compte de l'analyse conduite à partir de la présentation du première groupe d'étudiants.

Tableau 5-21. Présentation du groupe 1 : analyse épistémologico-langagière

1	Formateur	On est parti euh // vous aviez euh // des productions relativement différentes et on arrive à deux types de production finale // la première / je vais la représenter comme certains d'entre vous l'on dessiné	
2		(Le formateur représente la production du groupe 1 – annexe 11 - au tableau)	
3	Formateur	Voilà un mode de représentation de la lignée humaine // est-ce qu'un membre d'un des groupes qui a proposé cette représentation peut venir l'expliquer au tableau	
4	Peggy	Alors / on a comparé un peu entre eux et on s'est aperçu que chimpanzé et australopithèque ils avaient tous les deux une mâchoire en U / donc on s'est dit qu'ils avaient un origine commune // même le volume crânien bah là / c'est pas écrit mais c'est à peu près le même // y en a un c'est 380-440 et l'autre 500 / donc c'est comme ça qu'on s'est dit qu'ils devaient avoir une origine commune // le chimpanzé il existe toujours donc on s'est dit que cette branche là en fait / elle s'était pas développée ou peu développée par rapport à celle-ci où euh // bah on a dit que l'homme moderne descendait de l'australopithèque et qu'entre eux deux / il y avait autre chose quoi // (rires) et puis ben voilà	<p>1/ Structure de l'énoncé : On a comparé... on s'est aperçu... donc on s'est dit que Le « <i>donc</i> » est ici un marqueur de déduction logique qui introduit la conclusion d'un raisonnement dont les prémisses sont situées à gauche du <i>donc</i>. C'est la comparaison de certains caractères communs qui permet de conclure à une origine commune</p> <p>2/ Prise en charge énonciative de l'énoncé : - « on » qui renvoie aux groupes - « <i>un peu</i> », modalisation appréciative qui témoigne d'une prise en charge énonciative de ce qui est avancé mais en minorant le travail. - « <i>s'être dit</i> » qui indique également une prise en charge énonciative de l'énoncé (2 fois) reconstruction d'une démarche qui intègre rapport aux données empiriques (mâchoire, volume...)</p> <p>3/ « <i>même</i> » qui a une fonction argumentative qui vient renforcer le premier raisonnement en y ajoutant un nouvel élément, cela conforte l'orientation du potentiel argumentatif.</p> <p>4/ Reprise du raisonnement présenté en 1/ comparaison d'un caractère (volume crânien) – similitude du caractère « <i>donc</i> » marqueur de déduction logique : ils ont un ancêtre commun</p>

			<p>5/ Nouveau raisonnement : « <i>le chimpanzé existe toujours</i> » « donc » conclusif : « <i>la branche s'est pas développée</i> » Dissonance dans la reprise-modification : « <i>le chimpanzé</i> -> « il » -> « <i>cette branche-là</i> ». Nous l'interprétons comme un double flottement : d'une part par rapport à ce que représente la branche de l'arbre par rapport à l'espèce qu'elle porte et d'autre part, la relation entre l'ancêtre commun (l'origine commune) et le chimpanzé actuel.</p> <p>6/ On retrouve la même ambiguïté à propos de la description de l'autre branche : « <i>l'homme moderne descendait de l'australopithèque</i> » (on retrouve l'évolution supraspécifique relevée plus haut) avec le flou lexical pour désigner ce qu'il y a entre l'australopithèque et l'homme moderne « <i>y a autre chose quoi</i> ».</p>
5	Formateur	Est-ce que vous pouvez nous réexpliquer comment vous en êtes arrivés à l'idée d'une origine commune et quelles seraient les caractéristiques de cet ancêtre commun hypothétique là	
6	Peggy	Bah // il aurait une mâchoire en U un volume crânien assez bas	Reprise des deux caractères partagés par l'australopithèque et le chimpanzé pour attribuer à ce que le formateur nomme « <i>ancêtre commun hypothétique</i> »
7	Formateur	Assez bas donc / en fait / vous les avez séparés sur quel critère / qu'est-ce qui fait que vous les avez séparés ces deux branches là	
8	Peggy	Y en a un qui est quadrupède et l'autre qui est bipède	Peggy répond à la question du formateur. L'australopithèque et le chimpanzé sont séparés sur l'affiche parce qu'ils n'ont pas le même mode de locomotion. Cela permet de compléter la notion d'origine commune <i>par extension de l'objet du discours</i> : australopithèque et chimpanzé ont une origine commune parce qu'ils possèdent des caractères en commun mais représentent des branches différentes parce que certains caractères sont différents.
9	Formateur	Ok donc sur la branche qui part vers l'australopithèque et vers l'homme moderne / ça correspond à quoi cette branche là	
19	Formateur	Quadrupède // Est-ce qu'il y a des réactions sur cette proposition là	
20	Raphaëlle	Bah // juste que / en fait / si on regarde par rapport à l'échelle de temps / normalement l'australopithèque il a vécu y a plus longtemps que le chimpanzé.	Orchestration du dialogisme : « <i>juste</i> » stratégie argumentative qui tend à indiquer un désaccord avec la proposition qui vient d'être faite. « <i>Normalement</i> » modalisation aléthique qui pointe une contradiction entre les données (les périodes d'existence du chimpanzé et de l'australopithèque)
21	Formateur	Ce qui vous pose problème / c'est quoi //	
22	Raphaëlle	Bien / c'est que le chimpanzé / là il dure trop longtemps sur leur arbre / en fait //	Explication de la contradiction : « <i>le chimpanzé</i> » pour « <i>la période d'existence de l'espèce chimpanzé</i> » Déictique « <i>là</i> » : sur le schéma Il dure trop longtemps évaluation négative. Ce

			qui implique que « <i>normalement</i> » la période d'existence devrait être plus courte.
23		(agitation)	
24	Étudiant	C'est marqué depuis 550 000	« C' » : déictique qui renvoie à la représentation au tableau Mobilise les contraintes de la situation pour justifier de la contradiction avec le schéma présenté qui semble indiquer que le chimpanzé existe depuis l'ancêtre commun
25	Formateur	Oui // allez-y	
25	Marie	L'espèce / elle persiste depuis le début	Double reprise-modification : « <i>le chimpanzé</i> » -> « <i>l'espèce</i> » -> « <i>elle</i> » ; reprise pronominale usuelle à l'oral La première reformulation ancre l'énoncé dans un monde scientifique. Le « <i>depuis le début</i> » est dissonant par rapport au « <i>depuis 550 000</i> ». Pour cette étudiante, il semble qu'il y ait une difficulté à prendre en charge la question de la période d'existence du chimpanzé qui, si on l'indique, oblige à laisser un « trou » entre l'ancêtre commun et le chimpanzé.
26	Anne-Lise	Oui // mais là / ça veut dire qu'elle est apparue en même temps que l'australopithèque	« <i>oui mais</i> » argumentatif « <i>là</i> » déictique qui renvoie à la façon dont l'arbre est représenté « <i>ça veut dire</i> » : assure le transcodage schéma -> texte De la façon dont le schéma est représenté l'australopithèque et le chimpanzé sont apparus en même temps (implicite : ce qui est impossible compte tenu des données à disposition). Cela remet en cause la simultanéité.
27	Raphaëlle en second plan	Quand tu fais une branche comme ça / c'est la même chose //	
28	Pierre	Oui / mais y a autre chose avant // nan	« <i>Oui mais</i> » argumentatif, prise de position contre l'énoncé précédent. David conteste l'interprétation du schéma faite par les étudiants précédents. « <i>y a autre chose avant</i> » qui reprend le « <i>avait autre chose quoi</i> » Peggy.
29		xxx de l'évolution	
30	Étudiant	Bah faut le matérialiser.	Bah qui correspond à une dénivellation : il a une fonction conclusive ici : compte tenu de ce qui vient d'être dit, il faut modifier le schéma. Reprise modification : X -> « <i>le</i> » : il y a un certain doute par rapport à ce qui est repris ici. 1/ On pourrait penser qu'il s'agit de « <i>la période d'existence du chimpanzé</i> », mais le genre de l'article défini ne coïncide pas. 2/ X pourrait également correspondre à ce qu'il y a entre l'ancêtre commun et le chimpanzé et qui serait plus en adéquation avec le flou lexical observé plus haut.
31	Formateur	Oui // ça nécessite de / d'indiquer / on va euh // que ce chimpanzé / il existe seulement depuis 550 000 ans c'est ça // donc / euh / on va le représenter comme ça (écrit au tableau) // ça / c'est la période donc / d'existence du chimpanzé 550 000 / ok / et donc là / il provient de là mais // donc l'homme moderne / lui 110 000 (écrit) / ok bon // et puis cet australopithèque là / entre -5 Ma	« <i>oui</i> » : validation de la proposition de l'étudiant en 30. Reprise modification : « <i>le</i> » -> « <i>ça nécessite de / d'indiquer / on va euh // que ce chimpanzé / il existe seulement depuis 550 000 ans</i> » : le formateur interprète le dans le sens 1. Cela donne lieu à une modification du schéma présenté au tableau blanc. Les périodes d'existence des différentes espèces sont matérialisées par un segment fermé pour l'australopithèque et par des demi-segments pour le chimpanzé et l'homme moderne. Des

		jusqu'à -2,2 millions d'années (écrit) // donc en plus cet ancêtre commun là / ce qu'on peut dire c'est qu'il / cet ancêtre / c'est qu'il serait âgé de plus de - 5 Ma / oui ok ça vous va mieux comme ça	traits indiquant les relations de parenté entre ces espèces sont maintenues.
32	Anne-Lise	Bah oui	
33	Formateur	Ça permet effectivement de tenir compte que / enfin qu'on n'ait pas l'impression que le chimpanzé correspond à cet ancêtre // parce que si on met une flèche directe on pourrait effectivement croire / mâchoire en U volume crânien bas quadrupède c'est les mêmes caractères que le chimpanzé / mais c'est pas le chimpanzé car il n'existait pas // c'est qu'il y a aussi eu une évolution / il y a aussi eu une évolution / il y a aussi eu une évolution mais il a gardé un certain nombre de caractères par rapport à l'ancêtre / mais il a évolué c'est pas le même // bon autre proposition la deuxième	Explicitation par le formateur de la critique formulée par Raphaëlle et Anne-Lise. Le chimpanzé a une période d'existence définie. Avant cette date, le chimpanzé n'existe pas.

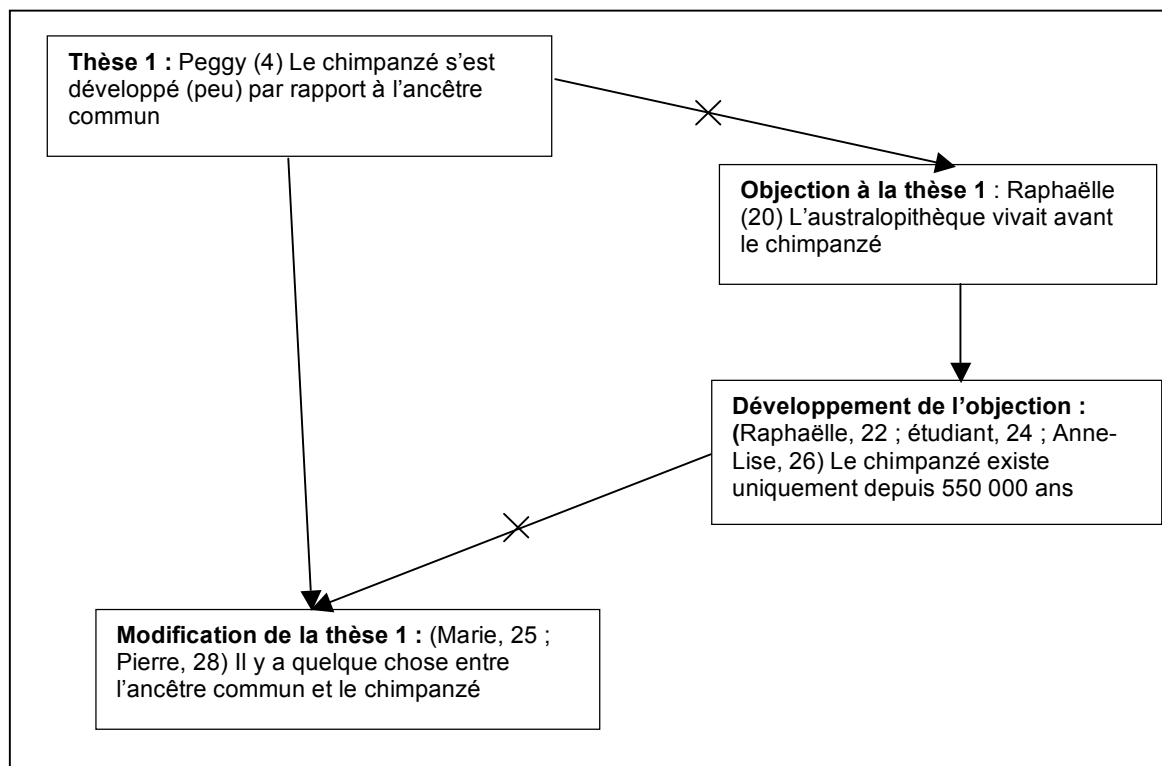
Deux points méritent d'être discutés. Le premier concerne la construction de la nécessité d'une origine commune entre les trois espèces. Le second correspond à la discussion qui se développe entre deux thèses dans les interventions 20 à 30.

Dans l'intervention de Peggy en 4, des éléments du registre empirique (le chimpanzé et l'australopithèque ont une mâchoire en U, un petit cerveau) et des éléments du registre du modèle (origine commune) sont mis en relation au sein d'un raisonnement : « on a comparé, ..., on s'est aperçu, donc on s'est dit que ... », mené deux fois de suite. Compte tenu des indicateurs langagiers repérés qui traduisent une forte prise en charge de ce raisonnement par Peggy et du « même » qui vient souligner le raisonnement conduit, nous pensons que cela témoigne d'un mouvement apodictique qui permet de reconstruire⁶⁷ la contrainte empirique suivante : « certains caractères sont partagés entre plusieurs espèces » qui est articulée avec la « nécessité d'une origine commune des espèces ». L'origine commune établie ici ne correspond pas au concept d'ancêtre commun tel que nous l'avons défini précédemment. En effet, rapidement, Peggy précise que le chimpanzé « s'est pas ou peu développé ». Cela laisse à penser que le chimpanzé ou une espèce très proche du chimpanzé correspond au point de départ de cette histoire évolutive.

L'épisode 20-30 correspond à un épisode argumentatif où deux thèses s'opposent. Pour l'analyser plus précisément, nous allons construire la structure argumentative de cet épisode (figure 5-12).

⁶⁷ Nous pensons que la construction de cette nécessité a eu lieu lors du travail de groupe, ce qui permet de présenter un raisonnement explicite.

Figure 5-12. Structure argumentative de l'épisode PEI



Cet épisode argumentatif est intéressant à analyser car, jusque-là, les étudiants ont établi des relations de parenté entre différentes espèces sans nécessairement s'interroger sur la signification des différents éléments constitutifs de la représentation, notamment les traits reliant les noms placés sur les différentes branches de l'arbre. C'est ce qui est en discussion dans cet épisode.

Quessada et Clément (2005) proposent une typologie des représentations de la lignée humaine dans les manuels de terminale S que nous pouvons mobiliser ici. Ils distinguent trois types de représentations :

- des schémas stratigraphiques qui présentent « *la répartition des espèces fossiles dans le temps* » (*ibid.*, p. 296) ;
- des schémas phylogénétiques qui indiquent les relations de parenté entre les différentes espèces sous forme de cladogramme, comme celui présenté à la figure 5-11 ;
- des schémas mixtes qui associent « *les approches stratigraphiques et phylogénétiques* » (*ibid.*)

Compte tenu de la situation proposée aux étudiants, ce sont des schémas mixtes qu'ils doivent construire. En effet, ils doivent tenir compte à la fois du temps et des relations de parentés entre êtres vivants. Dans un premier temps (production phase 3, phase 4), les élèves sont centrés sur les relations de parenté entre les différents êtres vivants. Fortin indique d'ailleurs que « *si, la métaphore de la parenté n'est pas en*

opposition avec l'idée d'évolution, en revanche elle constitue un obstacle cognitif au raisonnement phylogénétique. En effet, son caractère métaphorique peut à tout moment se substituer ou s'opposer aux explications scientifiques les plus rigoureuses » (2009b, p. 134). Ce que nos analyses attestent également.

L'objection formulée par Raphaëlle (reprise par un étudiant et Anne-Lise) porte sur la nécessaire prise en compte simultanée des relations de parenté et des périodes d'existence des espèces. Cette objection prend en compte, implicitement en 20 et 22 puis explicitement en 24, les données présentées dans le tableau 2 qui prennent le statut de contrainte empirique dans un raisonnement qui lui reste implicite, mais que l'on peut inférer puisque ces données sont mobilisées dans le cadre d'une objection formulée à l'encontre de la thèse 1 (celle du développement de l'ancêtre commun qui donnerait le chimpanzé). Ainsi, nous pensons que les étudiants qui objectent, construisent l'impossibilité d'une telle histoire évolutive, ce qui contient en creux la contrainte théorique d'une stabilité de l'espèce pendant sa période d'existence, que nous appellerons, en reprenant une formulation de Demounem et Astolfi, « *la permanence de l'espèce* » (1996, p. 64). On se trouve dans un cas (que l'on a déjà rencontré) de construction d'une nécessité par l'impossible du contraire. Même si ce raisonnement n'est pas explicité par les étudiants, il le sera par le formateur en 33 : « *ça permet effectivement de tenir compte que / enfin qu'on n'ait pas l'impression que le chimpanzé correspond à cet ancêtre commun // parce que si on met une flèche directe / on pourrait effectivement croire / mâchoire en U volume crânien bas quadrupède / c'est les mêmes caractères que le chimpanzé mais c'est pas le chimpanzé car il n'existait pas // c'est qu'il y a aussi eu une évolution / il y a aussi eu / une évolution / il y a aussi eu une évolution mais il a gardé un certain nombre de caractères par rapport à l'ancêtre commun hypothétique mais il a évolué c'est pas le même* ».

Les interventions de Marie (en 25) et de Pierre (en 28) sont également intéressantes à analyser. Effectivement, leurs interventions portent sur ce qu'il y a entre l'ancêtre commun et le chimpanzé. Ici encore, le raisonnement est implicite, mais les indicateurs langagiers relevés attestent d'une orientation argumentative qui tend à souligner qu'il doit « *y avoir quelque chose* » entre l'ancêtre commun et le chimpanzé, c'est-à-dire qu'il ne peut pas y avoir de trou entre les espèces qui ont des relations de parenté entre elles. Du point de vue de la représentation, si l'on reprend la métaphore de l'arbre (les espèces seraient les « feuilles » portées par les « branches »), les étudiants qui interviennent donnent une signification aux branches de l'arbre qui est cohérente avec une conception intraspécifique de l'évolution (Fortin, 2002, p. 92). Cette conception de l'évolution s'accorde bien avec la métaphore de la lignée associée au gradualisme « *lié à une conception simplificatrice, finaliste et anthropocentrée de l'évolution humaine* » (Quessada & Clément, 2005, p. 295). La contrainte théorique de la permanence de

l'espèce n'est pas directement compatible avec cette conception, justement en raison de la stabilité de l'espèce pendant sa période d'existence.

C'est bien de la signification des « branches » que traite cet épisode argumentatif. Dans les représentations buissonnantes de l'évolution, comme le précisent Quessada et Clément, la métaphore de l'arbre « *indique que chaque espèce fossile correspondrait à une feuille d'arbre dont les branches, ramifications, troncs, n'ont pas laissé de traces* » (2005, p. 294), ce qui est en adéquation avec une représentation buissonnante de l'évolution (Gould, 1991). Cette question n'est pas explicitement thématifiée durant la discussion et le formateur ne la reprend pas à son compte puisqu'il s'appuie sur les objections de Raphaëlle et d'Anne-Lise pour modifier la représentation du schéma présenté par le groupe 1 afin de construire un schéma mixte. La question des « branches » de l'arbre ne sera plus abordée dans le débat, même si elle est importante du point de vue de la tâche proposée aux étudiants et du concept à construire.

L'analyse de ce premier extrait du débat montre que même si les étudiants proposent un produit (l'arbre construit) qui pourrait paraître acceptable (au moins formellement), cela ne s'est pas accompagné d'une transformation de leur système explicatif. La suite de la discussion permet de passer de la nécessité d'une origine commune à la nécessité d'un ancêtre commun.

3.4.2. La présentation de la seconde affiche

L'analyse épistémologico-langagière de la présentation de la seconde production (type 4-2) est présentée dans le tableau 5-21.

Tableau 5-21. Présentation du groupe 5 : analyse épistémologico-langagière

34	Narayan	Nous, on a mis presque la même chose, sauf que on a, on a mis ici un autre ancêtre commun parce qu'il y a apparition d'un...	<p>1/ Prise en charge énonciative : « nous ».</p> <p>2/ « presque » a une valeur argumentative en minorant la proposition faite précédemment (Ducrot, 1980).</p> <p>3/ « sauf que » signale une mise à distance et annonce un point de vue autre</p> <p><i>Gestion de l'hétéroglossie :</i></p> <p>Ces trois éléments indiquent une prise de distance par rapport à la proposition faite par le groupe précédent.</p> <p>4/ « ici » déictique qui pointe la place de l'ancêtre commun qui a été ajouté : entre l'australopithèque et l'homme moderne.</p> <p>5/ « parce qu' » Comme le précise Adam, avec parce que « <i>un seul acte d'énonciation est accompli : un acte d'explication</i> » (1984, p. 120). Ainsi ce que Narayan veut expliquer ici, c'est la cause pour laquelle ce groupe</p>
----	---------	--	--

			d'étudiants à décider de mobiliser ce nouvel ancêtre commun. C'est l'apparition de nouveaux caractères chez l'homme moderne : qui explique pourquoi un nouvel ancêtre commun a été ajouté.
35	Narayan	Ecrit au tableau (ajoute l'ancêtre commun)	
36	Narayan	Presque la même chose, par contre, un autre changement ici, parce que... C'est la même chose que ...	Reprise « <i>presque la même chose</i> » Reprise modification « <i>sauf que</i> » -> « <i>par contre</i> » <i>Gestion de l'hétéroglossie</i> : Narayan positionne ainsi la proposition faite par le second groupe en opposition avec celle du premier groupe. « <i>c'est la même chose</i> » : déplace le raisonnement réalisé en 34 sur l'ancêtre commun 1 (ancêtre commun à l'ancêtre commun ajouté et au chimpanzé) et montre qu'il est valide également sur l'ancêtre commun 1.
37	Autre étudiant du groupe	Il y a une petite branche	
38	Autre étudiant du groupe	Il faut mettre une autre petite branche (plusieurs fois)	<i>Gestion de l'hétéroglossie</i> : Reprise modification « <i>il y a</i> » -> « <i>il faut</i> ». Cette modalisation indique la nécessité d'ajouter une branche par rapport à la production du premier groupe. Ce qui positionne la proposition du groupe 2 en opposition à celle du groupe 1.
39	Narayan en faisant	Ça c'est l'homme et ça c'est une autre branche parce que on a eu des difficultés à présenter le temps, donc euh...	Une branche représente l'homme moderne et la deuxième branche présente l'australopithèque « <i>Parce que</i> » ici permet de thématiser la difficulté rencontrée lors des productions précédentes
40	Etudiant	Narayan, c'est quoi la branche, c'est quoi cette petite branche	
41	Narayan	Ca en fait, c'est une, comment ça s'appelle, c'est une ramification pour présenter toutes les autres euh, toutes les autres, euh, comment ça s'appelle, toutes les autres évolutions qui ont eu lieu, parce que si on met pas de petite branche, on voit qu'il y a juste un critère qui a changé entre l'australopithèque et nous.	La ramification représente « <i>toutes les autres évolutions qui ont eu lieu</i> ». « <i>parce que</i> » a une fonction explicative : Narayan explique pourquoi le second groupe a ajouté la seconde branche. « <i>si ..., on voit...</i> » : le raisonnement conduit par Narayan reste implicite. Pour nous cet énoncé est compréhensible si on le met en relation avec l'énoncé du groupe 1 auquel il vient répondre : « <i>on a dit que l'homme moderne descendait de l'australopithèque</i> ». C'est par rapport à cet énoncé que l'on peut comprendre le « <i>on voit qu'il y a juste un critère qui a changé entre l'australopithèque et nous</i> ». Et c'est bien à cette idée que vient s'opposer la proposition du groupe 1.
42	Formateur	Donc celui là, c'est qui ? Là ? À la ramification ? Quel caractère il aurait alors ?	
43	Narayan	Celui là, il est toujours bipède. Mâchoire en U, mâchoire en V, donc ça, il présente une mâchoire en V cette fois-ci.	Comparaison des deux branches : un caractère est apparu (mâchoire en V), comme la bipédie était apparue sur la branche de qui mène à l'ancêtre commun australopithèque/homme moderne. Le raisonnement conduit en 34 est illustré ici en appui sur les données de la situation.

Nous ne sommes pas dans un épisode fortement argumentatif. Cependant plusieurs indicateurs langagiers signalent que les énoncés produits par Narayan viennent répondre à la proposition faite par le premier groupe. Cela permet de proposer un nouveau point de vue en positionnant l'énoncé produit en décalage par rapport au premier par plusieurs stratégies :

- les stratégies de mise à distance par l'emploi de « *presque* », « *sauf que* », « *par contre* », « *il faut* » ;
- la structure de l'énoncé produit.

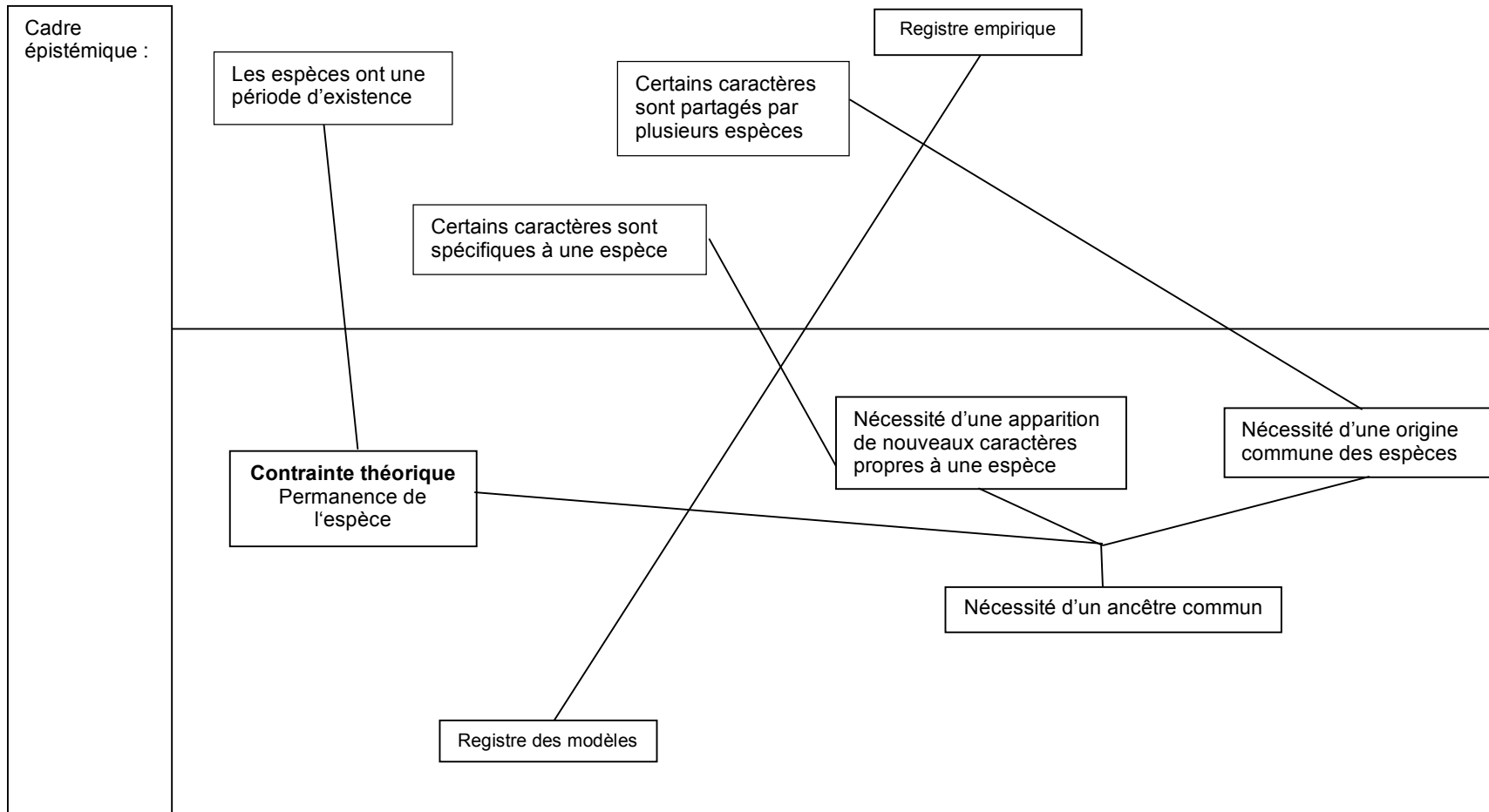
Comparons les énoncés de Peggy et ceux de Narayan. Peggy produit un énoncé qui met en scène la démarche suivie par le groupe « *on a comparé... on s'est aperçu... donc on s'est dit que...* » et s'ancre à la situation de production (« *cette branche là, celle-ci* »). L'énoncé de Narayan, même s'il reste lié à la situation de production (emploi du déictique « *ici* »), se positionne par rapport celui de Peggy et cible les points de désaccord en utilisant une structure du type « *A parce que B* », caractéristique d'un acte d'explication (Adam, 1984, p. 120), et qui relève d'un genre second, caractéristique du discours scientifique.

Les explications données par Narayan visent à expliquer pourquoi les étudiants du groupe 5 ont placé un ancêtre commun entre l'australopithèque et l'homme moderne. C'est sur ce point que porte la différence entre les deux productions (cf. tableau 5-20). Alors que le premier groupe s'est appuyé sur les caractères partagés par plusieurs espèces pour établir leur origine commune, Narayan s'appuie sur les caractères spécifiques (qui permettent d'exclure) à une espèce pour justifier le positionnement d'un ancêtre commun (« *parce que si on met pas de petite branche, on voit qu'il y a juste un critère qui a changé entre l'australopithèque et nous* » en 41). Le fait qu'une espèce possède un caractère spécifique empêche de la faire « descendre » d'une espèce qui ne possède pas ce caractère (c'est un critère d'exclusion). Cela peut se comprendre seulement si on le met en relation avec la contrainte théorique de la permanence de l'espèce. On retrouve la contrainte théorique identifiée lors de la présentation de la première explication. Elle intervient une nouvelle fois en creux dans le raisonnement de Narayan : elle n'est pas explicitement formulée, mais elle sous-tend son raisonnement (celui-ci n'a de sens que si on la mobilise).

Le raisonnement présenté par Narayan pour expliquer la mise en place du second ancêtre commun est validée en le faisant fonctionner sur le premier ancêtre commun en 36. Cela traduit un processus de généralisation. Ainsi, nous pensons que la mise en relation entre la spécificité de certains caractères pour une espèce, la contrainte théorique de la permanence de l'espèce et la nécessité d'une origine commune des espèces permet d'établir la nécessité d'ancêtre commun hypothétique.

C'est à partir de ces données que nous pouvons construire l'espace « contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat (figure 5-13). Il précise les contraintes et nécessités construites et comment elles s'articulent par rapport aux raisonnements menés par les élèves.

Figure 5-13. Espace « contraintes et nécessités » en jeu dans ce débat sur l'ancêtre hypothétique commun (classe de PEI)



3.5. Conclusion

Les phases précédentes du travail ont obligé les étudiants à abandonner une vision ontogénétique de l'évolution. Mais la construction d'un arbre qui représente les relations de parenté entre trois espèces ne permet pas, à lui seul, de faire accéder les étudiants à une conception phylogénétique. En effet, nos analyses montrent :

- que certains étudiants mobilisent encore après ce travail une vision généalogique de l'évolution ;
- que les nécessités qui fondent le concept d'ancêtre commun hypothétique n'ont pas été toutes construites.

Les analyses épistémologico-langagières permettent d'identifier, dans une discussion critique, ce sur quoi repose les constructions des étudiants : les arguments avancés, les raisonnements qui sous-tendent ces constructions, ce qui permet d'établir la nécessité d'un ancêtre commun : pourquoi ne peut-on pas envisager une histoire évolutive sans ancêtre commun hypothétique.

Ainsi, il se dégage que toutes les contraintes et nécessités n'ont pas le même niveau d'explicitation et de formulation :

- la nécessité d'une origine commune est explicitée et repose sur le partage de caractères par plusieurs espèces ;
- la nécessité de l'apparition de nouveaux caractères également ;
- la contrainte théorique de la permanence de l'espèce n'est pas explicitée même si elle est mobilisée implicitement dans les raisonnements conduits par Raphaël, un étudiant et Anne-Lise en 20, 22 et 24. Elle est reprise, sans plus d'explicitation dans le raisonnement de Narayan en 41.

Compte tenu du faible niveau d'explicitation de l'ensemble de ces raisons, nous pensons que nous en sommes à un premier niveau de formulation de la nécessité d'un ancêtre commun. D'autant plus que le débat est court et ne permet pas de suivre le devenir de cette nécessité. Ainsi, même si la distinction entre le chimpanzé et l'ancêtre hypothétique commun au chimpanzé et à la lignée humaine a été discutée et affirmée (par le formateur), nous pensons qu'elle n'est pas encore construite.

Enfin, un dernier point mérite d'être rappelé. Il concerne le processus de secondarisation du texte produit, mentionné plus haut : alors que Peggy produit un énoncé qui reste ancré à la situation de production, Narayan produit une explication scientifique. Le texte de Narayan, qui vient après la discussion du texte de Peggy, semble témoigner (si l'on se place dans le processus de construction d'un texte unique pour le groupe) d'une secondarisation. Notons cependant que si le texte

relève d'une explication, il ne rend pas compte des raisons, des arguments sur lequel il repose : l'explicitation des raisons aura lieu dans la suite du débat. Cela repose la question des liens (conditions suffisantes et/ou nécessaires) entre secondarisation et problématisation.

4. Conclusion du chapitre 5

L'analyse épistémologique préalable conduite sur le concept de sélection naturelle nous a permis de montrer que la « nouvelle case » proposée, celle des empiriques nécessaires, pourrait avoir un nouveau rôle. Dans le chapitre 4, nous avons proposé que les empiriques nécessaires pourraient être un moyen d'articuler problématisation et investigations empiriques *via* une détermination de plus en plus précise des tests à entreprendre. Dans l'analyse préalable de la section 1.1., la case des empiriques nécessaires permet de rendre compte d'un changement de statut d'éléments empiriques, réinterprétés par un processus de problématisation dans un cadre épistémique donné. Ainsi, l'adaptation, fait observable, devient un empirique nécessaire lorsqu'elle est réinterprétée par Darwin, à partir du concept de sélection naturelle. Il sera intéressant, lors de la discussion générale, de pointer les prolongements didactiques de ce travail d'élucidation théorique.

Avant de préciser l'intérêt des analyses menées du double point de vue langagier et épistémologique, rappelons le contexte de cette étude par rapport à l'économie générale de notre recherche. Elle étudie une double spécificité :

- pour les deux thèmes abordés, elle traitait de questions relevant de la biologie historique, domaine dans lequel les explications retenues par la communauté scientifique font intervenir le temps ;
- pour un des thèmes abordé (celui du concept d'ancêtre commun hypothétique), le dispositif de formation est contraint par rapport à la situation ouverte proposée aux élèves de première ES.

C'est à la lumière de cette double spécificité que nous allons indiquer les apports de nos analyses.

1/ Elles ont permis de distinguer plusieurs niveaux de formulation des contraintes et des nécessités construites. En cela, elles corroborent les résultats obtenus dans l'étude de cas sur la nutrition dans la classe de 3^e. Nous n'avons pas observé, dans les deux cas étudiés ici, de processus de généralisation des nécessités construites aussi clair que dans l'étude sur la nutrition dans une classe de 3^e, à l'exception peut-être, de la nécessité d'ancêtre commun que Narayan exporte en 36 (repris par un autre étudiant en 38 : « *il faut* ») sur une deuxième ramification entre l'homme moderne et l'australopithèque. Même s'il y a un mouvement de généralisation, il n'est pas aussi net que dans la classe de 3^e où des élèves, remobilisant une contrainte préalablement établie, disaient : « il faut un circuit ».

2/ Nos analyses confirment l'hypothèse, sur laquelle repose ce travail, d'un lien fort entre processus de problématisation et de secondarisation, traduisant le travail des savoirs dans/par le langage. Par exemple, elles ont permis de pointer (via les glissements singuliers <-> pluriels dans la présentation du premier groupe d'élèves) que l'idée de population est au travail lors de la présentation du groupe 1 dans la classe de première ES.

2a/ Du point de vue du format des explications produites, on constate que les élèves de premier ES mobilisent le même type de mise en récit que celui mis à jour dans l'étude sur la nutrition. C'est la première forme d'intervention du temps repérée dans cette étude. Elle semble mobilisée par les élèves quel que soit le champ de la biologie étudié. Les deux autres formes d'intervention du temps repérées dans cette étude sont spécifiques, semble-t-il, à la dimension historique de la biologie : le temps magique et le temps comme facteur participant de l'explication d'un phénomène biologique.

2b/ Il est également important de rappeler, du point de vue des liens entre problématisation et secondarisation, le cas de la mise en texte de l'explication de Narayan dans le groupe de PE1. Il produit, après un moment de débat, un texte qui relève du genre explicatif. C'est une situation proche à celle de 3^e, avec l'explication du sixième groupe d'élèves qui produit également, vers la fin du débat, un texte qui relève du genre explicatif. Dans les deux cas, le processus de secondarisation (entre les premières explications produites et le texte de Narayan ou celui de Maxime) est net. Au niveau de la problématisation, par contre, si les explications sont cohérentes par rapport aux contraintes et nécessités construites dans le débat, elles ne les expriment pas, elles ne les mettent pas en scène. Est-ce un effet de la mise en texte ? Est-ce un effet de contexte (l'explication-type ne contient pas d'arguments) ? Il y a des investigations à poursuivre de ce point de vue. D'autre part, dans la classe de première ES, nous avons vu, avec l'explication produite par les élèves du groupe 3, que le processus de secondarisation ne s'accompagne pas nécessairement d'une activité de problématisation. C'est sans doute lié à une non-reconnaissance, par les élèves, des genres des énoncés spécifiques à une communauté discursive. Il y a également, de ce point de vue, des pistes pour des recherches futures sur les relations entre problématisation et secondarisation par l'intermédiaire des genres.

3/ Les analyses ont mis en évidence un type d'argumentation spécifique à l'étude des mécanismes de l'évolution en classe de première ES : l'argumentation par l'exemple. Nous l'avons interprétée comme étant liée à la situation ouverte proposée aux élèves (notons d'ailleurs que dans une situation similaire, les étudiants de PE1 produisent des explications similaires reposant sur des exemples). À la différence du débat sur la nutrition dans une classe de 3^e, les éléments disponibles pour s'engager

dans l'explication ne semblent pas suffisants ou pas assez partagés par la communauté discursive scientifique scolaire. La situation ouverte implique la construction d'un monde possible partagé, nécessaire pour s'engager dans une discussion critique. Dans le groupe de PE1, la situation fournit des éléments à partir desquels les étudiants vont pouvoir s'engager dans le débat qui prend une dimension interprétative : comment interpréter le partage ou le non-partage de certains caractères par certaines espèces. Cela permet de focaliser la discussion autour du problème que l'on souhaite voir traité par les étudiants. Comme plusieurs interprétations sont possibles, la problématisation peut se développer. Par contre, nous avons montré que le dispositif prend en charge (implicitement) par l'intermédiaire des périodes d'existence des espèces, la contrainte théorique que les étudiants devront reconstruire. La question que nous nous posons est la suivante : dans quelle mesure cette prise en charge, par le dispositif lui-même, d'une contrainte théorique potentielle (via les périodes d'existence des espèces) ne limite-t-elle pas la possibilité de construction explicite de la contrainte théorique en question ? En effet, nous avons observé que les élèves se contentent de rappeler les périodes d'existence des espèces, ce qui est en décalage avec leurs raisonnements qui reposent sur la permanence de l'espèce. C'est une question didactique intéressante qui renvoie à la conception des dispositifs préparant le débat scientifique.

4/ Elles nous ont également permis de comprendre comment dans/par le travail langagier, certains obstacles sont mis au travail. Prenons l'exemple de l'obstacle de la parenté pour illustrer notre propos. Cet obstacle, pointé par Fortin (2009b), est mis au travail au cours d'un épisode fortement argumentatif. Cet obstacle se manifeste en focalisant l'attention des étudiants sur les caractères partagés par plusieurs espèces, ce qui leur permet de construire la nécessité d'une origine commune. En revanche, l'obstacle ne leur permet pas de s'intéresser aux caractères spécifiques. Seuls quelques étudiants s'engagent dans un tel raisonnement. Ils peuvent construire la nécessité d'un ancêtre commun hypothétique. L'explicitation des raisonnements à l'oral est difficile et seules les analyses épistémologico-langagières ont permis de les identifier.

Chapitre 6. DISCUSSION GÉNÉRALE

Chapitre 6. DISCUSSION GÉNÉRALE	373
Introduction	374
1. Le développement du cadre théorique de la problématisation	375
1.1. Problématisation et explication	375
1.2. Le développement de quelques points critiques dans le cadre de la problématisation	381
2. Les apports des analyses langagières dans la compréhension du processus de problématisation	387
2.1. Des chroniques aux récits : un point de départ pour la problématisation	388
2.2. Secondarisation des chroniques et processus de problématisation	389
3. Problématisation et obstacles : les apports d'une analyse épistémologico-langagière	407
3.1. L'obstacle fondamental	407
3.2. Les obstacles qui jouent sur les outils cognitivo-langagiers mobilisés par les élèves pour produire une explication scientifique	409
3.3. Les obstacles liés aux contraintes théoriques mobilisées dans certains raisonnements	414
3.4. Conclusion	416

Introduction

Au terme des développements théoriques et méthodologiques présentés dans les trois premiers chapitres de ce mémoire, des trois études de cas qui nous ont conduit à la présentation de problématisations épistémologiques préalables puis à l'analyse de problématisations scolaires, il s'agit de montrer en quoi ces travaux ont permis d'avancer par rapport à la compréhension du processus de problématisation, sur ses liens avec l'activité langagière qui accompagne les moments de débats scientifiques dans les classes et en quoi cela nous renseigne sur les apprentissages des élèves.

Ainsi ce chapitre doit nous permettre de remettre en perspective les développements théoriques proposés (chapitres 1 et 2), les questions de recherche explicitées dans le chapitre 3 et les résultats des analyses menées dans les chapitres 4 et 5.

Nous proposons d'organiser la discussion autour des points suivants :

- le développement du cadre théorique de la problématisation dans le champ des sciences de la vie ;
- les apports des analyses épistémologico-langagières dans la compréhension des problématisations scolaires.

À travers ces deux questions, nous serons amené à discuter des relations entre problématisation, problème et obstacles qui constituaient un objet de cette recherche. Nous souhaitons également profiter de cette discussion pour présenter les perspectives de recherches futures ouvertes par ce travail.

I. Le développement du cadre théorique de la problématisation

Le premier développement théorique présenté nous a amené à explorer le champ de l'explication afin de comprendre, à la manière d'un rationalisme régional, comment on pouvait envisager les liens entre problématisation et explication. Cela nous a conduit à rapprocher explication, problématisation et modélisation.

I.1. Problématisation et explication

Ce travail nous a permis des avancées sur le plan théorique, certaines ouvrant uniquement des pistes de travail, d'autres ayant pu être explorées dans les études de cas.

I.1.1. Logique formelle et logique de la découverte pour comprendre les relations entre problématisation et explication

Nous pensons avoir montré, à l'appui des travaux de Meyer, que, pour penser les relations entre problématisation et explication, on ne pouvait se contenter de mobiliser une logique formelle mais qu'on devait également faire appel à une logique de la découverte ayant des caractéristiques propres¹. En particulier, la logique de la découverte est context-dépendant, pour reprendre la formulation de Meyer (1979). Cette caractéristique nous a permis de réinterroger le concept de nécessité au sein de la problématisation et la relation entre l'activité de problématisation et le contexte problématique (renommé cadre épistémique) qui permet son développement.

D'une part, cela nous donne des éléments théoriques pour avancer sur l'articulation entre les moments d'investigation empirique et le processus de

¹ Il ne s'agit pas d'opposer logique formelle et logique de la découverte (elles ne sont pas du même ordre et sont complémentaires) mais d'indiquer qu'on ne peut comprendre la rationalité du moment de la recherche uniquement avec la logique formelle. C'est pourquoi il faut convoquer une autre logique (sinon le moment de la recherche est renvoyé à une dimension purement psychologique).

problématisation. Cette dernière piste de recherche, explorée par Orangeet *al.* (1999) et Orange (2003c), reste à poursuivre. D'autre part, cela permet de réintroduire la question des obstacles et de leur fonction par rapport au processus de problématisation. Ce dernier point donnera lieu à discussion plus loin dans ce chapitre.

1.1.2. Explications et problématisations scolaires dans les cas étudiés

Les différents moments de débat scientifique étudiés nous ont permis de mettre en évidence le caractère dissymétrique de la relation entre ces deux termes. Alors que les problématisations au cœur de l'activité scientifique sont nécessairement explicatives, toute explication ne permet pas d'avoir immédiatement accès à des savoirs problématisés.

1.1.2.1. Quelques résultats obtenus : les explications produites par les élèves confrontés à des problèmes explicatifs en biologie fonctionnaliste et historique

Rappelons quelques résultats obtenus au terme de ce travail :

- les élèves de 3^e devant expliquer comment un organe (comme le muscle) est approvisionné en énergie et en matière produisent tous, lors de la présentation de leur explication dans le débat scientifique (à l'exception d'un groupe d'élèves), une chronique inscrite dans le chronotrope du trajet ;
- les élèves de première ES qui doivent indiquer quelles sont les causes de l'évolution des espèces vivantes produisent une explication qui relève également de la chronique².

Dans les deux situations proposées, en biologie fonctionnaliste ou historique, avec des élèves d'âge différent, les premières explications produites par les élèves prennent la forme d'une chronique. Ainsi, ces résultats semblent montrer qu'il pourrait y avoir une tendance à passer par une chronique pour se lancer dans une explication scientifique.

² On retrouve des explications similaires dans les premières productions des étudiants préparant le CRPE quand ils doivent produire un schéma et un texte expliquant comment l'homme moderne est apparu sur Terre.

1.1.2.2. La chronique : une entrée dans l'activité de problématisation

En se référant au concept de genre premier de Bakhtine (1984), nous pensons que les chroniques produites par les élèves constituent une sorte de genre premier, c'est-à-dire un genre qui façonne « *les échanges spontanés qui régulent la vie de tous les jours* » (Jaubert & Rebière, 2002, p. 166), d'autant plus que ces chroniques possèdent certaines caractéristiques des genres premiers qui « *sont généralement de forme simple et relativement stéréotypée* » (Jaubert, 2000, p.251). Ce qui peut être intéressant, pour nous, dans ce concept de genre premier, c'est une autre de leur caractéristique, à savoir qu'ils sont « *liés à l'action et tributaires des conditions de leurs usages* » (Jaubert & Rebière, 2002, p. 166). Ainsi, dans la situation proposée aux élèves (produire une explication scientifique), les chroniques proposées par les élèves correspondent à un genre premier, dans la mesure où ce qui va piloter le discours, c'est l'action, c'est-à-dire ici la solution à la demande d'explication formulée par l'enseignant. Du point de vue de la problématisation, la mobilisation d'un genre premier, qui relève de la chronique, permet aux élèves une première exploration/délimitation de ce champ sur l'axe assertorique question – réponse.

Cette première exploration/délimitation est, sans doute, un préalable à l'entrée dans l'activité de problématisation, dans le sens où elle prépare les matériaux pour la problématisation. Nous avons mis en évidence que les différents éléments impliqués dans la problématisation sont construits par les élèves, y compris les éléments du registre empirique. Les éléments qui deviendront des contraintes empiriques ne sont pas des faits retenus au hasard mais des données qui ne prennent sens qu'en relation avec les explications que l'on cherche à élaborer, c'est-à-dire en lien avec les solutions à des problèmes perçus et éventuellement construits. Dans ce sens, Bachelard rappelle que c'est « *par l'enchaînement conçu rationnellement, que les faits hétéroclites reçoivent leur statut de faits scientifiques* » (Bachelard, 1949/1998, p. 123).

C'est à partir des travaux de Ricœur (1983, 1984) qui s'intéresse au processus de mise en récit (et pas seulement à leur organisation structurale), que nous allons pouvoir discuter les liens entre la mise en récit et l'activité de problématisation. Faisons un détour par les travaux de Ricœur avant de reprendre notre discussion sur les relations entre chronique et problématisation.

Dans le processus de construction d'un récit, Ricœur articule trois mimésis et place la mimésis II, ou mise en intrigue, au cœur du processus de la construction du

récit³. C'est une « *opération de configuration* » : « *Bref, la mise en intrigue est l'opération qui tire d'une simple succession une configuration* » (1983, p. 127) dans lequel « *un événement doit être plus qu'un occurrence singulière. Il reçoit sa définition de sa contribution au développement de l'intrigue.* » (*ibid.*, p. 127). Il s'agit d'un processus qui permet l'organisation syntagmatique⁴ des éléments signifiants dans le récit, c'est-à-dire ayant la capacité de mettre en relation des éléments identifiés comme signifiants. Pour le dire comme Ricœur, c'est la capacité à « *prendre ensemble* » (1984, p. 115). Ainsi, à partir d'un ensemble d'éléments, il y a construction d'une entité, l'histoire, par des mises en relation chronologiques, spatiales ou causales. Nous pensons que ce processus de mise en récit, mettant en jeu la mimésis II, n'est pas éloigné de l'activité de construction d'une explication (dans le sens ordinaire du terme et pas dans le sens que nous lui avons donné dans le chapitre 1 de ce mémoire). En effet, celle-ci relève également de la construction d'un réseau d'éléments signifiants par rapport à un problème scientifique. Par contre, il nous semble que la problématisation se situe à un niveau supérieur puisque cela implique une articulation fonctionnelle et explicite entre des contraintes empiriques et des nécessités sur le modèle : c'est dans cette « *mise en tension* » que se construisent les savoirs scientifiques (Orange, 2000, p. 27). Les distinctions faites, entre chronique, récit/explication et problématisation, pourraient définir des indicateurs pour déterminer le type d'activité menée par les élèves.

Revenons à notre discussion. Dans le corpus étudié sur la nutrition dans une classe de troisième, la plupart des élèves indiquent que les rejets émis par le corps humain font partie du problème de la nutrition humaine alors que ceci n'est pas indiqué dans la situation de départ. De la même façon, les élèves de première ES ou les étudiants d'une classe de PE1 vont mobiliser des modifications du milieu de vie (accidentelles ou non) dans les explications qu'ils produisent. C'est bien parce que les élèves identifient ces éléments comme étant en relation avec la question posée, les mettent en relation avec d'autres éléments que les chroniques produites par les élèves indiquent une première entrée dans l'explication. Comme les travaux de Bruner montrent que les premières formes grammaticales maîtrisées par les élèves pour « *agglomérer* » des séquences sont des marqueurs temporels tels qu'« *alors* » ou « *après* » (Bruner, 1996). Cela pourrait expliquer que les entités produites ont la structure d'une chronique.

Pour pouvoir problématiser en sciences, il faut circonscrire le problème, ce qui permet, entre autres, de lui donner du sens. La chronique pourrait être, pour des

³ « *Je tiens pour acquis que mimésis II constitue le pivot de l'analyse* » (Ricœur, 1983, p. 106).

⁴ « *Syntagmatique : ordre des parties du discours. Paradigmatique : figures de rhétorique, la lexis ou elocutio* ». Barthes (1985, p. 92).

élèves ou des étudiants non encore installés dans un paradigme scientifique (ou pour les scientifiques au moment d'une invention importante) une étape nécessaire⁵ pour :

- donner du sens au problème biologique étudié ;
- s'engager dans une première exploration du champ de la problématisation (par construction du registre empirique et formulation des premières idées [dans le sens d'Orange, 2000] : celle d'un tri parmi les aliments, d'une transformation des êtres vivants)

Cet usage de la chronique est recevable car la chronique permet de repérer, dans le *continuum* de la vie, des éléments qui ont du sens car, comme le rappelle Ricoeur, on ne peut configurer dans la mise en intrigue que ce qui est déjà saillant (Ricoeur, 1983, p. 125). Dans le cadre théorique de Ricoeur, la chronique peut prendre en compte certains éléments de la mimésis I⁶ (1983, p. 108-125).

De plus, pour que les élèves puissent s'engager dans une activité de problématisation, ils doivent utiliser des formes langagières qui sont à leur disposition. Or, la chronique constitue un genre disponible, relevant d'une forme narrative usuelle dans le monde quotidien, de sorte que les élèves peuvent s'engager dans la tâche. Bruner s'appuyant sur les études de Luria et Donaldson précise que « *la manière la plus naturelle et la plus précoce dont nous organisons nos expériences et nos connaissances prend précisément une forme narrative* » (1996, p. 151) et va même jusqu'à parler d'une « *tendance naturelle de l'homme à organiser narrativement l'expérience* » (1990/1991, p. 91). Ces propositions sont proches de celles développées par Ricoeur lorsqu'il précise que « *la composition de l'intrigue est enracinée dans une pré-compréhension du monde de l'action* » (1983, p. 108) et indique que la fiction est un outil naturel pour penser l'action (Ricoeur, 1986, p. 222) : « *la première manière dont l'homme tente de comprendre et de maîtriser le "divers" du champ pratique est de s'en donner une représentation fictive* ». Frédéric François précise également que la pensée narrative, organisée par rapport à ce que je sais du monde, est le mode de pensée qui fonctionne le plus en nous. C'est une forme de pensée très puissante et toujours sollicitée ; où, comme le précise Bruner, « *nous nous cramponnons à ces modèles narratifs de la réalité ; nous les utilisons pour donner forme à notre expérience quotidienne* » (Bruner, 2002/2005, p. 19). Le récit est un mode de mise en sens du monde et il semble, pour ces auteurs, tout à fait incontournable.

⁵ Il ne s'agit pas de dire que c'est toujours le cas mais nous le retrouvons régulièrement dans les analyses que nous menons.

⁶ « *On voit qu'elle est dans sa richesse le sens de Mimésis I : limiter ou représenter l'action, c'est d'abord le très comprendre ce qu'il en est de l'agir humain : de sa sémantique, de sa symbolique, de sa temporalité* » (Ricoeur, 1983).

1.1.2.3. Conclusion

La chronique pourrait être, pour les élèves, un genre premier intéressant pour entrer dans les problèmes scientifiques. En effet, il leur permet de s'engager dans la tâche explicative proposée par l'enseignant et de s'engager dans une première identification d'éléments saillants et d'idées en lien avec le problème construit. Selon Vygotski (1935), ce passage par une première représentation générale d'un phénomène est nécessaire pour commencer un apprentissage. Mais, pour construire un savoir scientifique, les élèves vont devoir, sur le plan épistémique, revenir sur ces éléments empiriques et sur ces idées pour accéder aux raisons (dans le sens d'Orange, 2000) dans un mouvement de l'assertorique vers l'apodictique. Cela va correspondre, sur le plan langagier, à un dépassement de la chronique pour construire des genres seconds⁷ appropriés à l'activité scientifique scolaire : c'est ce processus que Jaubert et Rebière appellent « *secondarisation* » (2005) que nous mobiliserons plus loin dans cette discussion.

Il est également intéressant de souligner que les élèves, que ce soit dans le champ de la biologie fonctionnaliste ou dans celui de la biologie historique, font le plus souvent appel à un genre premier qui convoque une dimension temporelle. Alors que cette dimension, comme nous l'avons souligné, est caractéristique du style de pensée évolutionniste, sa mobilisation dans le champ de la biologie fonctionnaliste entraîne automatiquement une linéarisation des phénomènes. Ce mode de raisonnement déjà étudié en physique (Closset, 1992 ; Viennot, 1993) et en biologie (Orange & Orange-Ravachol, 1995) constitue un obstacle pour approcher la compréhension des systèmes complexes, nous y reviendrons plus loin dans ce chapitre.

⁷ « *Les genres seconds apparaissent dans des échanges culturels plus élaborés, affranchis de l'urgence temporelle de l'action (roman, théâtre, conférence, débat scientifique...). Ils permettent de mettre à distance, d'objectiver, de reconfigurer l'activité dans laquelle le locuteur est engagé, c'est-à-dire de l'arracher de son contexte in media res, pour la dire, la réorganiser, la restructurer, la représenter via les formes langagières conventionnelles, déposées dans la culture et partagées par la communautés dans laquelle il s'inscrit* » (Jaubert & Rebière, 2002, p. 166).

1.2. Le développement de quelques points critiques dans le cadre de la problématisation

Les considérations théoriques présentées dans le chapitre 1, à partir du concept de problématisation, nous ont conduit à identifier quelques points critiques de notre cadre théorique (signification des distinctions entre registres, entre le statut de contrainte ou de nécessité, relations problématisation, problème, obstacle). Ces premiers constats nous ont conduit à proposer une version aménagée des « espaces de contraintes » dans une problématisation historique ou scolaire, proposés par Orange (1999, 2000) sous forme d'« espaces contraintes et nécessités ». La mobilisation de cet outil dans le cadre des différentes problématizations étudiées (épistémologiques et historiques préalables, scolaires) dans les chapitres 4 et 5 nous a permis d'avancer dans l'étude théorique de la problématisation. Nous allons les reprendre ici en essayant de montrer les perspectives nouvelles de recherche qu'elles ouvrent.

1.2.1. La nouvelle catégorie des « empiriques nécessaires »

La construction des « espaces contraintes et nécessités en jeu » vise à mettre mieux en évidence les deux dédoublements caractéristiques de l'activité de problématisation (dédoublement faits/idées ; dédoublement assertorique/apodictique), ce qui nous amène à proposer un espace divisé en quatre catégories. Trois d'entre elles reprennent, en les réorganisant, les catégories mises en évidence par Orange (2000). La quatrième, par contre, celle de l'empirique nécessaire, est une nouvelle catégorie et nous nous sommes interrogé sur son intérêt.

Au terme des différentes problématizations considérées dans ce travail, nous n'avons pas trouvé de trace de cette catégorie dans les problématizations scolaires étudiées, ni dans les analyses épistémologiques préalables des premiers niveaux d'élaboration des problèmes de distribution ou d'assimilation. En revanche, concernant ces mêmes problématizations, à des niveaux supérieurs d'élaboration du problème et dans les analyses épistémologiques préalables concernant l'évolution des êtres vivants ou le concept d'ancêtre commun, nous avons pu proposer des candidats au statut d'empirique nécessaire. Ainsi, dans le cas des problèmes de

nutrition (chapitre 4, figure 4-5), nous avons considéré que des « réactions chimiques », voire « des hydrolyses », pouvaient être considérées comme des empiriques nécessaires dans les niveaux supérieurs de formulation du problème d'assimilation. Dans celui de l'ancêtre commun (figure 5-6), c'est, pour des exemples précis, un ensemble de caractères pour un ancêtre commun hypothétique qui pourrait constituer un empirique nécessaire.

Dans ces deux cas, les nécessaires empiriques peuvent avoir une double fonction du point de vue de l'activité scientifique :

- ils orientent vers des questions du type : « pourrait-on envisager une nutrition sans réactions chimiques d'hydrolyses ? », « pourrait-on envisager une histoire évolutive d'une lignée sans ancêtre commun hypothétique ? » ;
- ils ouvrent vers des investigations empiriques ciblées : quelles types de réactions chimiques ? Quel ordre d'apparition ou de ségrégation des différents lignages collatéraux porteurs d'attributs particuliers ?

Dans le cas de l'analyse épistémologique préalable de l'évolution, nous avons montré comment un élément comme l'adaptation peut être amené à changer de statut dans un processus de problématisation. En effet, pris dans un mouvement problématique, l'adaptation des espèces à leur milieu de vie est au départ une contrainte empirique qui devient, de par l'activité de problématisation, un empirique nécessaire. Dans ce cas de figure, cet empirique nécessaire peut permettre le développement de questions du type : « pourrait-on envisager une évolution des êtres vivants sans adaptation des êtres vivants à leur milieu de vie ? ».

De fait, il nous semble que cette idée d'empirique nécessaire est doublement intéressante du point de vue de la problématisation. D'une part, elle permet la construction de nouveaux mondes possibles (nutrition sans réaction chimique, évolution sans adaptation...) qui peuvent être à la base de nouveaux développements problématiques (de nouvelles situations d'argumentation notamment). Dans des situations scolaires, les questions ouvertes par ces empiriques nécessaires pourraient être des moyens d'approfondir la problématisation pour aller vers une problématisation autonome des élèves⁸. D'autre part, cette idée conduit à questionner les relations entre problématisation et travail d'investigation empirique à la suite d'Orange et al. (2003).

⁸ Il nous semble que ce type de questionnement pourrait correspondre à de puissants « *inducteurs de problématisation* » pour reprendre la terminologie proposée par Fabre et Musquer (2007) à condition que la communauté scientifique discursive scolaire à laquelle on s'adresse puisse accepter de recevoir un tel questionnement.

Ces considérations ouvrent des perspectives de recherche intéressantes autour de la question du rôle de ces empiriques nécessaires dans le processus de problématisation et dans l'articulation entre activité de problématisation et investigations empiriques.

1.2.2. Enchaînements problématiques et perspective curriculaire

1.2.2.1. Problématisation et enchaînements problématiques

Le travail d'analyses épistémologiques préalables nous a permis d'envisager des enchaînements problématiques dans divers sens complémentaires, que nous avons retrouvés, pour certains, dans les problématiques scolaires.

1.2.2.1.1. Différents niveaux d'élaboration du même problème

Dans le cas des analyses épistémologiques préalables sur les questions de nutrition, nous avons montré que certains correspondent à un processus d'abstraction croissante, qui intervient quand on passe d'un niveau d'élaboration du problème à un autre.

Dans les deux exemples étudiés, le niveau d'élaboration du problème est en lien étroit avec le cadre épistémique et les éléments constitutifs de ce cadre (comme les concepts physico-chimiques disponibles par exemple). Une idée de feuilletage des niveaux d'élaboration des problèmes est présente, où plus le niveau augmente, plus les principes mobilisés sont abstraits, plus cela coûte du point de vue cognitif. Ainsi, il nous semble que cette idée de niveau d'élaboration des problèmes est à mettre en relation avec les recherches conduites dans l'équipe sur les principes structurants dans le champ des SVT (Orange-Ravachol & Beorchia, 2007)⁹. Ces différents

⁹ Les principes structurants correspondent à des principes « *qui ont historiquement fondé des domaines de savoirs scientifiques* » (Orange-Ravachol & Beorchia, 2007, p. 1) comme :

- le principe d'unité de la biologie qui permet à Bernard d'élaborer le concept de milieu intérieur (Orange, 2003d) ;
- le principe d'unité de structure et fonctionnement des cellules nerveuses qui a permis la construction du concept de synapse et d'intégration nerveuse (Beorchia, 2003 ; Orange-Ravachol & Beorchia, 2007) ;
- le principe d'actualisme (Orange-Ravachol, 2003) qui permet de « *contrôler les reconstitutions possibles de l'histoire de la Terre* » (Orange-Ravachol & Beorchia, 2007, p. 5)

questionnements posent la question didactique de la façon dont on peut permettre aux élèves de s'approprier ces principes structurants, de les faire fonctionner dans des problématisations scolaires. Ou pour le dire autrement, dans le cadre de notre problématique, ils posent la question des conditions de possibilité didactiques permettant aux élèves l'accès à des niveaux supérieurs d'élaboration des problèmes.

1.2.2.1.2. D'un problème à un autre

Dans les analyses épistémologiques préalables liées aux questions de nutrition, dans l'étude de cas sur la nutrition dans la classe de 3^e, dans les problématisations historiques de Darwin, nous avons mis en évidence que certains enchaînements problématiques correspondent à une certaine façon de relier des problèmes entre eux.

Dans le cas de l'analyse épistémologique préalable du problème de distribution, nous avons montré comment l'importation du problème de l'assimilation est une condition du passage du premier niveau d'élaboration du problème aux niveaux supérieurs.

Dans le débat dans la classe de 3^e, nous avons souligné que la mise en relation de plusieurs nécessités comme celle de tri, de distribution et de transformation permet aux élèves de construire le problème de l'absorption des nutriments.

L'étude de la problématisation historique de Darwin, nous a permis de mettre à jour la façon dont la construction du concept de sélection naturelle lui permet de réinterpréter, au sein d'un cadre épistémique évolutionniste, un ensemble d'autres problèmes biologiques comme celui de l'adaptation ou de l'apparition/disparition de certaines espèces.

Ces différents enchaînements problématiques permettent de reprendre, de façon contextualisée à la biologie, les idées de feuilletage présentées par Fabre (2007) à partir d'une réinterprétation de la dialectique outil/objet dans le cadre de la problématisation. Ce type de travail permettrait, peut être, de déterminer des réseaux problématiques qui pourraient rendre compte du caractère systémique des concepts scientifiques.

en géologie.

Ces principes constituent des conditions de possibilité de construction de certains concepts biologiques et géologiques.

1.2.2.1.3. Vers d'autres problèmes

Enfin, nous avons envisagé, dans notre analyse préalable du problème de l'assimilation, comment la construction de ce problème pouvait permettre de penser les bifurcations vers des problèmes d'ordre différent mais dont la construction requiert celle des problèmes précédents : par exemple, le problème du catabolisme oxydatif cellulaire qui, pour pouvoir être posé, nécessite la construction du problème de l'assimilation.

1.2.2.1.4. Conclusion

Ces trois types d'enchaînements problématiques, qu'il conviendra de mettre à l'épreuve sur d'autres champs des SVT, pourraient permettre de requestionner les concepts de trames conceptuelles et de niveaux de formulation des savoirs (Astolfi *et al.*, 1997).

Dans une perspective d'apprentissage scientifique par problématisation, cela nous donne également des outils pour penser ce que Vygotski (1934/1997, p. 316-317) appelle la sursomption (cf. chapitre 2, section 3.2.3.), c'est-à-dire la façon dont l'introduction des concepts scientifiques peut permettre une nouvelle façon de considérer les concepts quotidiens. Il conviendra de poursuivre nos recherches dans ce sens.

Enfin, d'un point de vue didactique, ces avancées ouvrent de nouvelles perspectives de recherche pour penser la problématisation dans une dimension curriculaire.

1.2.2.2. Problématisation et perspective curriculaire

C'est principalement à partir de l'analyse épistémologique préalable des questions de nutrition que nous avons touché au problème des relations entre la problématisation et la dimension curriculaire des apprentissages scientifiques. En effet, nos études de cas concernent uniquement un niveau scolaire par domaine d'étude.

Cependant, à partir de l'exemple de la nécessité de transformation dans deux problèmes différents, nous avons montré que plusieurs niveaux de formulation d'un même problème peuvent être traités à des niveaux d'enseignement successifs. Ce qui est intéressant ici, c'est que les niveaux d'élaboration élémentaires des problèmes

pourraient être déterminants pour les niveaux suivants, même s'ils n'aboutissent pas immédiatement à des solutions acceptables. En effet, les premiers niveaux contiendraient la signification biologique fondamentale du problème. Cela pourrait permettre d'expliquer pourquoi des niveaux de formulation de problème très élaborés, mais non mis en relation avec une élaboration élémentaire, pourrait conduire à une fragmentation des savoirs.

Cette idée, importante en termes curriculaire, nous conduit à formuler la notion de « *problème en réserve* »¹⁰. Ainsi, lors de la construction d'un problème à un niveau d'élaboration donné, certains nouveaux problèmes peuvent apparaître et mériteraient sans doute d'être identifiés comme tels, comme des « creux de savoir » qui devront être traités ailleurs ou ultérieurement. Ainsi, le processus de problématisation devrait non seulement permettre de construire certains problèmes, mais également de formuler des « problèmes en réserve » qui ont un rôle important d'un point de vue épistémologique¹¹. Il pourrait également contribuer à la constitution de la dimension systémique des savoirs scientifiques (comme nous l'avons déjà précisé précédemment, Vygotski distingue les savoirs quotidiens des savoirs scientifiques en partie sur la dimension organisés en système de ces derniers, 1937/1998, p. 318).

Il nous semble également que l'introduction du cadre épistémique, qui reprend en l'étendant le registre explicatif d'Orange (2000), pourrait permettre de penser l'ensemble des ressources potentiellement mobilisables par les élèves et leurs fonctions par rapport au processus de problématisation. L'enrichissement des cadres épistémiques à différents niveaux d'enseignement et ce qu'elle comporte d'obstacles et de concepts (des conditions de possibilité de formulation et construction du problème) peut être une piste de travail pour explorer le concept de problématisation d'un point de vue curriculaire.

¹⁰ Nous avons tenté plusieurs formulations : problème « *en réserve* » ou « *en attente d'être traité* », « *points d'ignorance repérés* », « *idée de boîte noire* » ?

¹¹ Voir l'exemple de la découverte des canaux à potassium présenté dans le chapitre 1, section 6.4.3.).

2. Les apports des analyses langagières dans la compréhension du processus de problématisation

La spécificité de notre recherche relève du mode d'analyse mobilisé sur les différents débats étudiés, à savoir la mise en œuvre d'une analyse double, épistémologique et langagière, pour comprendre, au plus près des interventions des élèves, le processus de problématisation.

Les études menées nous ont permis de pointer des indicateurs des mouvements langagiers qui participent de la transformation des explications initiales des élèves, transformations qui conduisent sur le plan épistémologique à un mouvement vers l'apodictique et sur le plan langagier à une secondarisation des explications produites par les élèves. Comme nous l'avons mis en évidence dans l'exemple du débat sur les mécanismes de l'évolution en première ES, il peut y avoir secondarisation sans problématisation, ce qui nous conduit à dire que les deux processus ne sont pas nécessairement conjoints. Nous allons, dans cette section, tenter de reprendre les principaux apports de notre recherche.

La présence, dans les chroniques produites par les élèves en réponse à la demande d'explication de l'enseignant, d'agents (les aliments, le canard, la grenouille) qui vont pouvoir subir (ou non) une ou plusieurs actions (les aliments vont être digérés, triés ; les animaux vont mutés, vont s'adapter...), ouvre la possibilité que les chroniques produites par les élèves soient progressivement transformées en récit (dans une conception exigeante de l'idée de récit). Il s'agit, maintenant, de caractériser l'évolution de la mise en texte du savoir en lien avec l'activité de problématisation.

Nous avons indiqué précédemment que la construction d'une chronique par l'élève relève pour partie de la mimésis I de Ricœur, même s'il y a déjà, dans cette mimésis I, une « rupture [...] avec la représentation linéaire du temps » (1983, p. 124). L'analyse des premières chroniques montre que cette rupture, à ce moment du débat scientifique, n'est pas construite par les élèves. C'est pendant le débat, alors que ces chroniques vont être soumises aux questions, critiques, commentaires des autres élèves de la classe et du professeur, que d'autres modes de relations (causales en particulier) vont être établis et vont permettre un mouvement vers l'apodictique par la construction de contraintes (empiriques et/ou théoriques) et de nécessités (sur le modèle et/ou empirique) liées par des raisonnements.

Nous allons nous appliquer, dans cette section, à caractériser les mouvements langagiers qui participent à l'évolution des chroniques des élèves dans l'avancée du débat scientifique.

2.1. Des chroniques aux récits : un point de départ pour la problématisation

Comme le rappelle Bruner, le récit commence lorsqu'une situation de départ, présentant un état des choses normal, ordinaire, est perturbée par un *peripetia* qui vient modifier la séquence attendue, ainsi « *les univers qu'elles proposent [les fiction littéraires] placent le monde réel sous un jour inhabituel* » (Bruner, 2002/2005, p. 22). C'est à partir de ces événements, correspondant à l'émergence des faits saillants, que les élèves vont pouvoir chercher à établir de nouvelles relations de causalité qui ne seront plus uniquement de nature chronologique. Il faut également nous référer à ce que Ricœur indique de la mimésis III qui « *marque l'intersection du monde du texte et du monde de l'auditeur ou du lecteur* » (Ricœur, 1983, p. 136). Un récit est donc une co-construction ce qui introduit une dimension dialogique dans le processus de construction du récit : l'auditeur a une certaine attente par rapport à un récit, une double attente paradoxale entre un récit à qui il pourra donner du sens (à pouvoir inscrire dans son monde à lui) sans que cela soit ordinaire ou évident. Bruner parle d'une tension dialectique entre ce qui est établi et ce qui est possible (2002/2005, p.26). D'une façon analogue, le débat scientifique, *via* les chroniques proposées par les élèves, présente aux autres élèves des éléments ordinaires, quotidiens. Puis, ce sont les interventions des pairs ou du maître qui vont venir mettre en doute cet ordre des choses. Ainsi, certains éléments de la chronique de départ vont devenir problématiques, ce qui permet aux élèves d'identifier un problème et d'engager le processus de problématisation par la reconstruction de nouvelles causalités qui permettent l'exploration du champ des possibles. Ainsi le débat scientifique, comme les récits¹², résout moins les problèmes qu'il ne les détecte. C'est donc bien la présence, dans le débat scientifique, de plusieurs chroniques différentes qui va permettre à la problématisation de s'engager.

¹² « *L'histoire est extrêmement sensible à tout ce qui contrarie notre sens du « normal ». À ce titre, elle résout moins les problèmes qu'elle ne les détecte* » (Bruner, 2005, p. 27). « *Un grand récit nous invite à poser des problèmes, il n'est pas là pour nous dire comment les résoudre* » (*ibid.*, p. 33).

2.2. Secondarisation des chroniques et processus de problématisation

Tout d'abord, il convient de souligner la dissymétrie qui existe entre ces deux processus. En effet, alors que la problématisation s'accompagne d'une secondarisation des explications produites par les élèves, la relation inverse n'est pas assurée. Ainsi, quand il y a secondarisation, elle signale que les élèves prennent en compte de nouvelles contraintes (en relation avec les modes de penser, parler, agir) propres au champ concerné. Il y a alors inscription dans un contexte nouveau, décalé par rapport à celui/ceux des productions précédentes, ce qui ne garantit pas nécessairement l'engagement dans une activité de problématisation telle que nous la définissons. Plusieurs mécanismes langagiers participent à l'activité de problématisation et de secondarisation des explications des élèves.

2.2.1. Les mécanismes de prise en charge énonciative

À de nombreuses reprises, dans les différents débats étudiés, nous avons relevé des indicateurs qui témoignent d'une forte prise en charge des énoncés produits par les élèves. Le tableau 6-1 indique l'occurrence de quelques formulations que nous avons régulièrement trouvées dans les débats analysés.

Tableau 6.1. Indicateurs de prise en charge énonciative trouvés dans les débats analysés

Indicateurs langagiers	Occurrence dans les débats
« nous, on pense que » ; « moi, je pense que »	débat 3^e : Angélique en 1, Maxime en 137, 342, Maëva en 193 débat 1^{re} ES : Raphaël en 57
« pour moi »	débat 1^{re} ES : Léo en 12, Louise en 76
« je pense »	débat 3^e : Maëva en 211, en 224 débat 1^{re} ES : Léo en 12 ; Raphaël en 35, en 37, en 57 ; Aurore en 73
« on s'est dit »	débat PE1 : Peggy en 4

Ces stratégies langagières donnent la possibilité aux élèves d'assurer une prise en charge énonciative forte des énoncés qu'ils produisent : c'est un moyen de prise de distance par rapport aux énoncés produits par les autres élèves. Or, cette prise de distance est indispensable à l'examen critique des propositions précédemment

formulées. Effectivement, elles sont indispensables pour le développement des thèses, antithèses et objections et permettent de prendre les places d'opposant et de proposant si l'on se réfère au modèle du trilogue argumentatif de Plantin (1996). Mais, si les élèves s'enferment dans ce type de stratégies, elles pourraient empêcher d'entrer dans le rôle de tiers qui est, comme le proposent Orange, Lhoste & Orange-Ravachol (2009, p. 103-105), celui qui prend en charge le problème et le texte tiers (le texte qui met en scène les arguments critiques, les raisons). Dans ce sens, la construction de stéréotypes langagiers constituerait un obstacle à l'entrée dans la problématisation (ce qui prolonge les travaux de Rebière, 2000, sur les postures).

Nous avons rencontré, dans notre étude, d'autres mécanismes qui manifestent cette mise à distance comme l'emploi de modalisations. Le tableau 6-2 récapitule quelques exemples de modalisations mis à jour dans les études de cas.

Tableau 6-2. Les stratégies de modalisation utilisées par les élèves et les étudiants

Occurrence	Type de modalisation
	<i>1/ Modalisation appréciative</i>
Débat 1 ^{re} ES – Jonathan en 14	Modalisation appréciative : « C'est plus une adaptation du corps »
Débat 1 ^{re} ES - Raphaël en 35	Modalisation appréciative : « ce qui est important à mon avis pour que l'espèce continue à survivre c'est la survie / faut qu'elle puisse continuer à se reproduire »
Débat PE1 - Peggy en 4	Modalisation appréciative : « Alors / on a comparé un peu entre eux et on s'est aperçu que chimpanzé et australopithèque ils avaient tous les deux une mâchoire en U / donc on s'est dit qu'ils avaient un origine commune »
Débat 3 ^e – Maëva en 118-120	Modalisation déontique : « <i>mais il y a que deux canaux</i> » → « Il faut plus de canaux »
	<i>2/ Modalisation déontique</i>
Débat PE1 - Raphaëlle en 20	Modalisation déontique : « Normalement l'australopithèque il a vécu y a plus longtemps que le chimpanzé »
Débat PE1 – Autre étudiant du groupe en 38	Modalisation déontique : « Il y a une petite branche » qui devient en 38 : « Il faut mettre une autre petite branche (répété plusieurs fois) » indique la nécessité de faire appel : « il y a » -> « il faut ».

Enfin, nous avons repéré un certain nombre de reformulations qui permettent l'ancrage du discours dans un univers scientifique (exemple : Angélique en 16 : « *ce qui est bon* » -> « les nutriments »).

Comme le précisent Fillon *et al.*, ces différentes stratégies langagières permettent « de mettre à distance, d'objectiver, de reconfigurer l'activité dans laquelle le locuteur est engagé, c'est-à-dire de l'arracher à son contexte pour la dire, la réorganiser, la restructurer, la représenter via les formes langagières conventionnelles, déposées dans la culture et partagées par la communauté dans

laquelle il s'inscrit » (p. 207). Il convient de souligner que ces stratégies langagières permettent aux élèves de construire, individuellement et collectivement¹³, une position énonciative *ad hoc* pour s'engager dans une activité scientifique. Comme nous l'avons rappelé (chapitre 2), apprendre les sciences ne consiste pas uniquement à apprendre des concepts scientifiques mais également les façons de parler, penser, agir de la communauté discursive de référence¹⁴. Dans ces moments de débat scientifique, les élèves s'essaient à des pratiques nouvelles comme celle de la controverse et de la construction d'une explication scientifique. Il faut noter que tous les élèves ne mobilisent pas de telles stratégies langagières (ce sont souvent les mêmes élèves qui mobilisent les stratégies langagières relevées dans les tableaux 6-1 et 6-2). Ce constat est à mettre en relation avec la notion de posture développée (à la suite de Bautier, 1995) par Rebière (2000) : la posture correspond à la rigidification d'une position énonciative, mobilisée quel que soit le contexte de travail. Ces travaux, autour d'une séquence en biologie (la nutrition du fœtus), montrent que certaines postures d'élèves les empêchent justement de construire une position énonciative *ad hoc* à une pratique scientifique scolaire. Ils indiquent également que « *les pratiques discursives réflexives (nous) paraissent particulièrement susceptibles de faire évoluer les positions énonciatives des élèves et même de défaire les postures* » (*ibid.*, p. 280).

Pour ce qui nous intéresse ici, les différentes stratégies de prise en charge énonciative permettent une prise de distance par rapport aux énoncés produits précédemment par les élèves ce qui permet de pointer les controverses, les points de vue non partagés. Cela participe, du point de vue de l'activité de problématisation, à des moments de positionnement des problèmes. C'est la dissonance produite entre les interventions de plusieurs élèves (dialogisme dissonant) ou au sein d'un même énoncé (hétéroglossie) qui va déclencher l'un des deux mécanismes suivants :

- soit il y a orchestration de l'hétéroglossie/dialogisme dissonant qui conduit à une réduction de la discordance ;
- soit il y a explicitation d'une question argumentative plus ou moins focalisée qui permet de thématiser un désaccord.

¹³ « Ces "positions énonciatives" sont à la fois individuelles, puisqu'elles permettent au sujet de donner à voir une représentation du monde qui lui est propre et qui le caractérise, et collectives, puisqu'elles témoignent de choix déontologiques, discursifs... acceptables par le groupe auquel appartient le locuteur » (Fillon et al., 2004, p. 207).

¹⁴ « Cette nécessaire construction à l'école de nouveaux rôles sociaux, à articuler avec de nouveaux savoir-faire, informés par une référence en actes aux pratiques sociales et langagières des communautés de référence, constitue le fondement de la notion de communauté discursive » (Bernié, 2002, p. 82).

Dans les deux cas (orchestration de l'hétéroglossie ou enclenchement d'un épisode argumentatif), nous avons observé que cela permet d'enclencher une secondarisation de l'explication produite qui accompagne le processus de problématisation. Problématisation et secondarisation ont alors à voir avec une activité argumentative qui relève, pour le premier cas, d'une argumentation sur les possibles et, dans le second cas, d'une argumentation de preuve (pour reprendre deux fonctions de l'activité argumentative dans les débats scientifiques en classe proposées par Orange, 2003).

2.2.2. Réduction de la dissonance entre des énoncés ou entre des voix dans un énoncé et problématisation

Dans les trois débats étudiés, nous avons montré que les moments de présentations des affiches sont suivis d'une phase de questionnement ou de demande d'explicitation autour de ces présentations. Quand l'effort d'explicitation est suffisant, l'explication proposée par un groupe d'élèves peut être comparée à une autre. Nous pouvons interpréter ce processus en mobilisant le concept de schématisation emprunté à Grize (voir chapitre 2). En effet, si l'on considère, à la suite de Canguilhem, que la genèse d'une solution possible est aussi importante que la démonstration de son caractère nécessaire¹⁵, la théorisation que propose Grize (1996, 1997) par rapport à la construction des schématisations semble, d'une part, compatible avec notre cadre épistémologique et, d'autre part, répondre à nos besoins de modélisation d'une argumentation sur les solutions possibles. Grize définit la schématisation comme « *une représentation discursive orientée vers un destinataire de ce que son auteur conçoit ou imagine d'une certaine réalité* », une façon « *de faire voir quelque chose à quelqu'un* » (Grize, 1996, p.50), ainsi que « *son résultat virtuel qui consiste en un micro-univers pro-posé devant l'objecteur virtuel B* » (Grize, 1982, p.172). Ainsi, pour qu'un énoncé proposé par un élève soit recevable, il est nécessairement négocié.

Nous avons montré que ces négociations se traduisent par plusieurs transformations avant que les schématisations proposées soient acceptées par la communauté discursive scientifique scolaire.

¹⁵ « *La genèse du possible important autant que la démonstration du nécessaire* » puisque connaître revient à « *valider un possible en le rendant nécessaire* » (Canguilhem, 1965/2003, p. 58)

1/ *Les schématisations doivent être suffisamment explicites*¹⁶. Cette nécessité conduit à des reformulations qui permettent la réduction du nombre de pronoms utilisés, la disparition du lexique flou (comme le « ça » par exemple) et également la mobilisation d'un lexique spécialisé qui permet le passage d'un univers quotidien à un univers plus scientifique¹⁷. Ce processus témoigne de l'engagement dans une secondarisation de ces schématisations, sans forcément s'accompagner d'un processus de problématisation. L'explicitation est nécessaire pour que l'objet du discours soit saisissable par les autres élèves, pour qu'ils puissent s'en emparer en vue de le mettre en discussion.

2/ *Les schématisations sont mises en cohérence sur le double plan épistémologique et langagier*. Les mises en cohérence nous donnent des indications sur le processus de problématisation puisque nos analyses ont montré qu'elles s'effectuent avec des éléments précédemment construits dans le débat qui correspondent soit au cadre épistémique qui norme le processus de problématisation, soit à des nécessités déjà établies.

Trois exemples extraits des trois débats étudiés :

- les schématisations proposées par les élèves de 3^e doivent, dans un premier temps, prendre en compte la nécessité d'un tri (à partir du deuxième groupe : critique de Léa en 43 : « *il n'y a pas de tri* ») puis, dans un second temps, celle d'une distribution par un circuit sanguin (à partir du quatrième groupe : critique de Maxime en 201 : « *il est où le cycle* ») ;
- les schématisations proposées par les élèves du deuxième groupe de première ES doivent concilier la nécessité d'un temps long et le caractère ponctuel et aléatoire des mutations pour expliquer l'évolution des êtres vivants (épisode 6 du débat en classe de première ES) ;
- les schématisations du premier groupe d'étudiants (PE1) sur le concept d'ancêtre commun hypothétique doivent être mises en cohérence avec le corpus de données, c'est-à-dire avec les relations de parenté entre les espèces présentes et leur période d'existence (Raphaëlle en 20 : « *Bah// juste que / en fait / sin on regarde par rapport à l'échelle de temps / normalement l'australopithèque il a vécu y a plus longtemps que le chimpanzé* »).

¹⁶ C'est une condition pour qu'elles puissent être comparées aux autres schématisations.

¹⁷ Deux exemples issus de nos études de cas, débat 3^e : « 14- Angélique : Par les vaisseaux sanguins / quand **ça** passe dans le sang ; 15- Enseignant : Alors / **qu'est-ce qui passe dans le sang** ; 16- Angélique : Euh // euh // **les nutriments** » ; débat 1^{re} ES : « 35 – Raphaël : *D'abord des grenouilles de bases suite à une fuite nucléaire on a **modification du code génétique** de la grenouille / et je pense que **ça** peut aussi être fait par autre chose que la fuite nucléaire ça c'est à déterminer // et donc après apparition de grenouilles cornues parce que **mutation de gènes** //* ».

Dans ces différents exemples, c'est la prise en compte d'éléments construits ailleurs dans le débat (soit des nécessités préalablement construites, soit des données non prises en compte) intégrée dans les schématisations des élèves qui produit leur mise en cohérence, traduisant une augmentation de la cohérence et de la cohésion des énoncés des élèves par réduction de l'hétéroglossie ou du dialogisme dissonant. Du point de vue de l'activité de problématisation, cette observation donne des indications quant au niveau de généralisation des éléments construits (contraintes empiriques ou nécessités sur le modèle). Par là même, ces analyses nous permettent de distinguer plusieurs niveaux de problématisation : des problématisations locales qui correspondent à des éléments construits mais qui ne sont pas repris dans la suite du débat (nécessité d'un tri petit/gros) et des problématisations d'un niveau de généralisation supérieur : les nécessités construites sur un cas particulier, à partir d'un raisonnement contextualisé sont utilisées pour contrôler d'autres productions, d'autres raisonnements. Il est difficile, dans l'état actuel de nos recherches, de savoir si le niveau de généralisation supérieur est dû aux caractéristiques propres de la problématisation (son caractère général) ou à leur partage dans la classe. Nous reviendrons sur ces distinctions dans la discussion de la section 2.2.

La construction des schématisations que nous avons interprétées comme une argumentation sur les solutions possibles peut enclencher, lorsque la dissonance est trop forte et ne peut être réduite, des épisodes fortement argumentatifs se développant, au sein desquels on peut trouver une argumentation de preuve.

2.2.3. Argumentation de preuve et problématisation

Nous avons analysé cinq épisodes fortement argumentatifs au cours de cette recherche (2 en 3^e, 2 en première ES et 1 dans la classe de PE1). Ils nous ont permis de caractériser les stratégies argumentatives utilisées par les élèves et les étudiants. Le tableau 6-3 récapitule les différents actes argumentatifs mis à jour dans ces débats.

Tableau 6-3. Les actes argumentatifs et leurs occurrences dans les débats étudiés

Actes argumentatifs	Occurrence
Proposition thèse	SA-3-1, SA-3-2, SA-1ES-1, SA-1ES-2, SA-PE-1
Développement d'une thèse	SA-3-1
Objection à une thèse	SA-3-1, SA-3-2, SA-PE-1
Développement de l'objection à une thèse	SA-3-1, SA-1ES-2, SA-PE-1
Argumentation en faveur de la thèse	SA-3-2, SA-1ES-1
Objection par rapport à l'argumentation développée en faveur de la thèse	SA-1ES-1
Objection à une thèse qui permet d'argumenter en faveur d'une autre thèse	SA-1ES-2
Dépassement de l'objection	SA-3-2, SA-1ES-1
Condensation de deux thèses	SA-3-2
Reformulation d'une thèse	SA-1ES-1, SA-PE-1

Ces résultats témoignent d'une grande diversité des stratégies utilisées par les élèves pour s'engager dans un travail argumentatif (ils complètent ceux d'Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009, dont l'étude portait également sur des élèves de troisième et de cycle 3).

Dans tous les épisodes analysés, même si le nombre des élèves qui participent à un épisode est limité (4 ou 5), les structures argumentatives montrent à la fois la compréhension des enjeux par les participants et leur implication. Et ce d'autant plus que nous avons montré que ce sont des savoirs scientifiques qui sont au travail au cours de ces épisodes argumentatifs :

- l'épisode SA-3-1 permet d'établir l'impossibilité d'une distribution par irrigation, la nécessité d'un retour sanguin et propose une distribution par circulation où le sang circule en sens unique ;
- l'épisode SA-3-2 permet la condensation de la question du tri et de celle de la transformation pour proposer la thèse d'un tri selon le critère de la taille ;
- l'épisode SA-1ES-1 met en question différents mécanismes qui peuvent expliquer les modifications génétiques adaptatives. Cet épisode permet la construction de la nécessité d'un temps long ;
- l'épisode SA-1ES-2 permet de construire l'impossibilité des modifications génétiques adaptatives ;
- l'épisode SA-PE-1 permet de discuter de la relation évolutive entre l'ancêtre hypothétique commun et le Chimpanzé.

Dans ces cinq exemples étudiés, les épisodes argumentatifs sont déterminants par rapport au processus de problématisation. Dans deux cas, ils permettent d'établir une impossibilité (SA-3-1, SA-1ES-2), dans deux autres cas, ils permettent de construire une nécessité (SA-3-1, SA-1ES-1), enfin, deux épisodes permettent la construction

d'une nouvelle solution possible mieux accordée aux éléments préalablement construits au cours du débat (SA-3-1, SA-PE-1). Le développement des épisodes argumentatifs permet l'explicitation de certains raisonnements et de certaines mises en relation entre contraintes (empiriques et théoriques) et nécessités sur le modèle. De ce point de vue, ils participent du processus de désyncrétisation entre les éléments empiriques, fondements théoriques et nécessités sur les modèles.

Analysons maintenant plus précisément les raisonnements développés par les élèves au sein de ces épisodes fortement argumentatifs et des autres épisodes analysés au cours de notre recherche.

2.2.4. Raisonnements mobilisés par les élèves et problématisation

Le tableau 6-4 reprend les résultats obtenus à la section 3.3.2. du chapitre 4 et à la section 2.3.1. du chapitre 5. Il présente une catégorisation des raisonnements produits par les élèves au cours des débats scientifiques que ce soit pendant les épisodes qui relèvent d'une argumentation sur les possibles ou d'une argumentation de preuve.

Tableau 6-4. Catégorisation des raisonnements produits par les élèves dans le processus de problématisation

<i>Type de raisonnement</i>	<i>Occurrence dans ce débat</i>	<i>Episodes concernés</i>
Raisonnement reposant sur des éléments admis explicités	1	E3-17 ₂
Raisonnement par analogie	2	E3-13, E1ES-2-4
Raisonnements reposant sur des fondements généraux (schèmes argumentatifs ou topoï)	3	E3-2, E3-5, E3-17 ₁
Raisonnement reposant sur des éléments admis non explicités	4	E3-9, E3-11, E3-14, E3présentation G5
Raisonnement par l'inacceptable	5	E3-11, E3-14, présentation 3-G5, E3-17 ₂ , E1ES-3-1
Raisonnement qui s'appuie sur des exemples	5	E-1ES-2-3, E-1ES-3-1, E-1ES-5-7, E-1ES-6

Plusieurs remarques à propos de ces résultats doivent être formulées.

1/ Nous avons montré que les raisonnements étudiés sont presque toujours incomplètement explicités. Cela semble caractéristique des raisonnements conduits à l'oral. En effet, les raisonnements sont conduits au sein d'une communauté discursive scientifique scolaire, qui possède une histoire, partage une culture. Cela peut expliquer pourquoi une partie des éléments sur lesquels reposent les raisonnements des élèves ne sont pas nécessairement explicités, sans que cela

provoque d'incompréhension au sein de la classe, puisque certains de ces raisonnements sont mêmes menés à plusieurs. Nous avons trouvé trois types d'éléments qui peuvent rester implicites dans les raisonnements des élèves. Dans certains cas, ce sont les prémisses des raisonnements qui peuvent rester implicites : compte tenu du contexte dans lequel se déroule le raisonnement, il n'est pas nécessaire, pour se comprendre, de reprendre tous les éléments sur lesquels on s'appuie puisque l'on estime que les membres de la communauté discursive scolaire le savent. Dans d'autres cas, ce sont les fondements sur lesquels on s'appuie qui restent implicites : ce sont en général des fondements généraux qui font partie de la culture commune. Enfin, dans les raisonnements par l'inacceptable, la formulation de l'inacceptabilité n'est généralement pas explicitée, pas plus que les conséquences qui peuvent en être tirées, comme si cela n'était pas nécessaire.

Du point de vue didactique se pose la question de la mise en texte d'une problématisation scolaire. Effectivement, si les raisonnements sont incomplets, s'ils ne sont pas explicités, il semble difficile de pouvoir faire apparaître, dans le texte du savoir, les arguments qui permettent de fonder les conclusions auxquelles le travail conduit. Sur cette question de la mise en texte et des pratiques de savoir, nous participons actuellement à une recherche INRP/IUFMs dont la responsabilité scientifique est assurée par Christian Orange¹⁸.

2/ C'est dans le débat en première ES sur les mécanismes de l'évolution que nous trouvons de nombreux raisonnements qui s'appuient sur des exemples. Deux éléments peuvent l'expliquer. Tout d'abord, la situation est très ouverte et les élèves, pour pouvoir raisonner, sont obligés de mobiliser des exemples pour pouvoir mener des raisonnements alors que dans le débat sur l'ancêtre commun, le corpus de données fournies est suffisant pour pouvoir raisonner. De plus, à propos de la question de l'évolution des espèces, la culture partagée semble moins importante que dans le cas de la nutrition. Ainsi, le matériau disponible pour s'engager dans une activité de problématisation n'est pas suffisant dans ce cas, alors qu'il semble l'être dans la situation concernant les fonctions de nutrition. Comme les élèves manquent de matériau pour problématiser, ils vont progressivement construire un monde possible par des mécanismes de contextualisation / décontextualisation. Ce monde se trouve alors peuplé d'un certain nombre de cas, convoqués de façon *ad hoc* pour permettre l'explicitation des idées des élèves ou leur illustration, par rapport aux mécanismes de l'évolution des espèces.

¹⁸ Recherche collaborative INRP / IUFMs d'Aquitaine, de Basse-Normandie et des Pays de la Loire : *Mise en texte et pratiques des savoirs dans les disciplines scolaires. Direction scientifique* : Christian Orange, PU, IUFM des Pays de la Loire, CREN Université de Nantes.

Regardons le fonctionnement de deux exemples dans le débat sur les mécanismes de l'évolution en première ES.

Exemple 1 : Le bronzage comme processus adaptatif

14	Jonathan	C'est plus une adaptation du corps / comme nous avec l'humain // c'est un peu la même chose par rapport au bronzage ou au métissage // c'est comme quelqu'un qui vivrait dans un pays chaud / il va avoir son corps qui va peut être s'adapter // même pour le soleil et tout ça // sous le soleil il va être bronzé
15	Quentin	Comme ceux qui naissent en Afrique aussi ils sont habitués au soleil

Dans ce premier cas, l'exemple choisi a pour fonction d'illustrer l'idée, avancée par le groupe 1, d'une intégration des modifications de l'environnement dans l'information génétique de l'individu, modification qu'il pourra alors transmettre à sa descendance. L'exemple est singulier, il est marquant et il permet « d'apporter de l'eau au moulin » de la thèse transformiste présentée par le premier groupe. « Tout va bien », tout s'explique facilement.

Exemple 2 : Les maladies génétiques

77	Lara	Ben par exemple y'a des maladies génétiques qui viennent comme ça et c'est pas par besoin ni rien / même des déformations physiques / y'a des enfants qui naissent avec 4 doigts et c'est pas par nécessité ou par besoin / c'est parce que c'est comme ça
78	Prof	Alors pour toi ça peut arriver au hasard
79	Lara	Ben ouais
83	Louise	Par rapport à ce que disait Lara / une maladie génétique tu l'as pas au cours de ta vie tu l'as dès la naissance donc c'est pas provoqué c'est dès la naissance
87	Louise	C'est quelque chose que t'as eu dès ta naissance pas au cours de ta vie

Dans ce cas, l'exemple mobilisé par les élèves n'a pas la même fonction que dans le premier cas. Il possède une fonction critique. Il permet de discuter l'idée présentée précédemment, celle d'une modification adaptative de l'information génétique au niveau individuel. La mobilisation de cet exemple par les élèves conduit à construire l'impossibilité d'un tel modèle explicatif. Dans le même temps, il apporte des contraintes que devra respecter un modèle acceptable et en ce sens, il permet le développement de la problématisation.

Le fonctionnement des arguments par l'exemple ou l'illustration dans le processus de problématisation peut donc varier selon le rôle que les élèves font jouer à l'exemple : dans le cas 1, l'exemple joue plutôt comme un obstacle, dans le cas 2, il a une fonction critique qui permet de faire avancer la problématisation. Nous retrouvons certaines thèses avancées par Canguilhem dans sa communication à

propos du singulier et de la singularité en épistémologie biologique¹⁹. Canguilhem souligne, dans cette communication, que le singulier peut être un obstacle à la construction des concepts scientifiques (1968/1989, p. 212), pour aussitôt ajouter que le singulier ou la singularité peut avoir soit une « *valeur de séduction* », il joue alors le rôle d'obstacle, soit une « *valeur de contestation* » (*ibid.*, p. 213). Dans ce sens, et nous retrouvons notre analyse, les singularités peuvent participer à la dynamique de construction des concepts scientifique²⁰.

Cela nous conduit à distinguer parmi les mouvements de contextualisation / décontextualisation rencontrés au cours de nos analyses deux types de mouvements qui n'ont pas la même valeur du point de vue du processus de problématisation.

Les mouvements de décontextualisation / recontextualisation permettent le passage d'un cas à un autre cas par l'intermédiaire de formulation générale. On a retrouvé ce type de mouvement essentiellement dans le débat sur les mécanismes de l'évolution dans la classe de première ES. D'après les analyses faites, ce type de mouvement illustre uniquement un discours général où les idées avancées sont exemplarisées à partir d'exemples *ad hoc*. Même si, du point de vue langagier, ces mouvements favorisent la construction de l'objet du discours, ils ne conduisent pas à un travail scientifique de la façon dont nous l'entendons, puisqu'ils ne participent pas à l'élimination de la contingence des savoirs, pour reprendre une formulation de Bachelard²¹, à travers la construction de leur caractère nécessaire.

Par ailleurs nous avons identifié d'autres mouvement de décontextualisation / recontextualisation qui permettent le développement de la problématisation. C'est le cas lorsque des élèves mobilisent une nécessité construite sur une affiche pour la faire fonctionner sur une autre affiche ou sur une autre situation. Nous avons analysé ce type de mouvement dans le débat sur la nutrition en classe de 3^e avec la nécessité de tri et de distribution par un circuit sanguin. Nous en avons également un exemple dans le débat sur l'ancêtre commun avec les PE1 lorsque Narayan (en 36) fait fonctionner le raisonnement qui lui a permis de justifier un ancêtre commun hypothétique au chimpanzé et à l'ensemble australopithèque / homme moderne sur un autre endroit du schéma, ce qui lui permet de justifier de la « mise en arbre » d'un nouvel ancêtre commun hypothétique à l'australopithèque et à l'homme moderne.

¹⁹ Intitulé d'une communication de Canguilhem à la société belge de philosophie de 1962, publiée dans Canguilhem, 1968.

²⁰ « *Toutefois si les singularités physiques ou organiques apparaissent alors si remarquables, si singulièrement importantes pour la connaissance de la nature, c'est au moins autant parce qu'elles servent à contester la portée des systèmes que parce qu'elles incitent l'imagination à en construire incessamment* » (Canguilhem, 1968/1989, p. 213).

²¹ « *Il y a culture dans la proportion où s'élimine la contingence des savoirs* » (Bachelard, 1949).

Dans ces exemples, le mouvement de décontextualisation / recontextualisation permet la montée en abstraction des raisons construites lors d'un raisonnement qui était contextualisé. D'un point de vue didactique, Orange (2007b) et Orange et Orange-Ravachol (2007) ont mis en place un dispositif, dans le cas d'un travail sur le mouvement du bras avec des élèves de cycle 3, dont l'objectif est de permettre aux élèves de procéder à de tels mouvements de décontextualisation / recontextualisation. Ces recherches montrent que la stratégie utilisée facilite l'extraction des raisons construites au cours des débats scientifiques précédents. Cette extraction est une condition pour pouvoir envisager une mise en texte d'une problématisation scolaire.

3/ Avec les raisonnements par analogie, nous sommes dans une situation proche de celle décrite pour les raisonnements qui s'appuient sur des exemples. Deux raisonnements de ce type ont été mis en évidence :

- dans le débat sur la nutrition dans la classe de 3^e, Maxime mobilise une analogie entre le fonctionnement d'une pompe et celui du cœur. Cela lui permet d'argumenter en faveur d'une distribution par un circuit sanguin. Dans ce cas, l'analogie est productive du point de vue de la problématisation ;
- dans le débat sur les mécanismes de l'évolution dans la classe de première ES : Léo propose une analogie entre les mécanismes de l'apprentissage et les modifications génétique adaptative d'un individu. Dans ce cas, l'analogie est considérée par les autres élèves comme non pertinente. Ils la rejettent rapidement, sans que cela fasse avancer le processus de problématisation.

Dans le premier cas, l'analogie est pertinente car le fonctionnement du cœur et celui d'une pompe relèvent tous les deux d'un paradigme mécaniste. Dans le second cas, les mécanismes de l'apprentissage et ceux des modifications du patrimoine génétique ne relèvent pas du même paradigme. D'ailleurs, si nous nous intéressions à d'autres dimensions du fonctionnement cardiaque (comme son automatisme et sa régulation), l'analogie avec la pompe risquerait de ne plus avoir beaucoup de sens.

Ainsi, pour qu'une analogie soit productive du point de vue du processus de problématisation, il faut que l'élément convoqué pour réaliser l'analogie relève du même paradigme, ce qui nécessite une certaine vigilance épistémologique. Canguilhem avait noté que « *quand on est ouvert à toutes les apparences, prêt à recevoir de n'importe quoi la lumière sur quoi que ce soit, le démon de l'analogie peut faire flèche de tout bois rare* » (1968/1989, p. 212). Le dispositif que représente le débat scientifique dans la classe permet aux élèves de s'exercer à cette vigilance épistémologique comme le montre le deuxième cas cité.

4/ Les raisonnements pas l'inacceptable, dont les conséquences inacceptables ne sont généralement pas explicitées, sont les plus fréquents. Ils sont efficaces du point

de vue de l'activité de problématisation puisqu'ils conduisent en général à la formulation d'une impossibilité. L'impossibilité est un élément fort de délimitation du champ des solutions possibles, d'autant plus que l'impossible construit permet d'exclure une solution précédemment proposée dans le débat. Par contre, il est intéressant de voir que dans les différents cas étudiés, l'impossibilité peut se doubler ou non d'une nécessité. Reprenons plusieurs exemples.

Exemple 1 : débat 3^e

184	Enseignant :	Pourquoi il faut que cela soit mis en tout petit
185	Florian :	Sinon / ça passerait pas dans le sang

Ici, c'est l'impossibilité pour les nutriments d'aller dans le sang sans avoir été préalablement transformés qui est partiellement explicitée par le « *sinon* ». À ce moment du débat, la nécessité d'une transformation des aliments a déjà été construite par les élèves. La nécessité se trouve alors renforcée par ce raisonnement qui ne mobilise pas directement la nécessité de transformation, mais fonctionne par renforcement par exclusion de l'inverse.

Exemple 2 : débat 1^{re} ES

10	Louise :	tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça / ça se fait petit à petit // enfin // il y a plusieurs générations avant d'arriver à un canard qui va se modifier
----	----------	---

Le raisonnement conduit par Louise permet d'établir l'impossibilité de la transformation du canard sur une seule génération : « *tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça* ». Le raisonnement repose sur des savoirs partagés du type « on n'a jamais vu un canard se transformer » qui ne sont pas explicités. Ce qui est intéressant, c'est la façon dont cette impossibilité conduit à la proposition de l'intervention d'un temps long qui accède par exclusion de l'inverse au statut de nécessité. De plus, comme nous l'avons montré, cela permet d'envisager l'évolution non plus au sein d'un individu, mais d'une série temporelle d'individus (qui ne constitue par une population constituée par une série horizontale d'individus, figure 5-4 du chapitre 5), ce qui permet de détacher la centration des élèves sur l'individu.

Dans ces deux exemples, il est intéressant de voir comment fonctionne l'enchaînement : impossibilité -> nécessité par exclusion de l'inverse. Pour que cet enchaînement fonctionne, il faut que l'on soit en présence d'une alternative, ce qui est le cas dans les deux exemples présentés : la transformation du canard a lieu sur un temps court / soit sur un temps long, soit les aliments sont transformés / soient ils ne le sont pas. Dans cette configuration, l'établissement de l'impossibilité conduit *ipso*

facto à rendre l'inverse nécessaire. Ce n'est pas le cas lorsque l'on se trouve dans une autre configuration, comme celle présentée dans le troisième exemple.

Exemple 3 : débat 3^e

131	Maëva :	« Bah ça veut dire que si ça marche comme ça / ça veut dire que le sang il arrive au muscle mais il repart pas / donc il y a trop de sang dans le muscle / si on regarde leur schéma //... »
143	Enseignant :	« et pourquoi il ne peut pas rester dans le muscle »
144	Maxime :	« Bah si il s'accumule »
145	Benoît :	« À force il y aura trop de sang // il va éclater // »

Dans cet épisode dont l'analyse est présentée dans le chapitre 4, les élèves (collectivement, alors que dans les cas précédents le raisonnement était conduit par un seul élève) établissent l'impossibilité d'une distribution par simple irrigation. Cette impossibilité ne se traduit pas immédiatement par la nécessité d'une distribution par circulation sanguine, puisque l'on peut envisager une distribution par des tuyaux sanguins avec un va-et-vient du sang, comme le proposera Kévin. Il faudra des élaborations ultérieures, notamment l'analogie entre le fonctionnement du cœur et celui d'une pompe, pour que la nécessité d'une distribution par circuit clos soit construite.

5/ Nous examinerons les raisonnements qui reposent sur des fondements généraux à la section 3.

6/ Conclusion

Remarquons tout d'abord que des raisonnements sont conduits à la fois au cours des épisodes qui relèvent d'une argumentation sur les possibles et au cours des épisodes fortement argumentatifs. Ensuite, la principale conséquence du développement, par les élèves, de raisonnements est la désyncrétisation entre ce qui a statut de contrainte dans les propositions des élèves : les prémisses des raisonnements et les fondements mobilisés et ce qui a statut de nécessité : les conclusions des raisonnements qui permettent d'établir des impossibilités, des possibles et des nécessaires.

L'explicitation plus ou moins complète des raisonnements par les élèves répond soit au besoin de réduire la dissonances entre énoncés ou l'hétéroglossie au sein d'un même énoncé, soit à la focalisation d'une question argumentative. Elle permet, sur le plan langagier, une secondarisation des énoncés des élèves et, sur le plan épistémologique, la construction de raisons. Cette dynamique langagière et épistémologique conduit, dans deux cas sur les trois étudiés (débat sur la nutrition dans une classe de 3^e et sur l'ancêtre commun dans un groupe de PE1), à la

production par le dernier groupe d'un énoncé qui est en rupture avec les énoncés précédents, sur le plan langagier et épistémologique :

- des énoncés qui relevaient exclusivement du genre de la chronique, ont évolué vers des discours plus théoriques caractéristiques des textes scientifiques (les marqueurs qui géraient uniquement la prise en compte de l'espace et du temps sont remplacés ou accompagnés par des connecteurs logiques) ;
- les premiers énoncés syncrétiques sont remplacés par des énoncés qui prennent en compte les contraintes et nécessités construites au cours du débat.

Dans le cas du débat sur les mécanismes de l'évolution dans la classe de première ES, l'organisation du débat et son pilotage par l'enseignante²², ne permettent pas, à l'échelle du débat, de rendre visible cette rupture. Elle reste localisée à l'intérieur de chaque présentation d'affiche. Du point de vue didactique, cette situation pose deux questions complémentaires :

- celle de la conception de la situation de débat qui doit permettre à la fois une présentation des explications des différents groupes et une comparaison critique des différentes explications produites ;
- celle du pilotage de telles situations qui demandent, comme ont montré Schneeberger *et al.* (2007), la construction d'un certain nombre de gestes professionnels adaptés à ce type de travail en classe.

2.2.5. Complémentarité des analyses épistémologico-langagières pour comprendre le processus de problématisation

À la différence d'autres études menées au sein de l'équipe ou par d'autres (Orange, 2003a, 2004b, 2005 ; Schneeberger & Ponce, 2003 ; Lhoste, 2004, 2005, 2006 ; Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009 ; Peterfalvi & Fillon, 2009 ; Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2009), nous avons procédé, dans cette recherche, à une analyse complète de trois débats scientifiques sur un double plan épistémologique et langagier. Cette analyse double nous a permis de pointer quelques caractéristiques communes à ces débats dans le champ de la biologie fonctionnaliste et de la biologie historique, caractéristiques que nous allons rappeler maintenant.

²² L'enseignante a d'ailleurs indiqué qu'il s'agissait davantage, pour elle, d'un moment d'explicitation des explications des élèves que d'une réelle confrontation entre les explications produites

1/ Les élèves s'engagent dans la production d'une explication scientifique à partir d'un genre qui semble disponible, rapidement et facilement mobilisable : celui de la chronique.

2/ Les chroniques produites par les élèves sont potentiellement porteuses de développements problématiques.

3/ La possibilité, pour certains élèves, par des stratégies langagières adaptées (les différentes stratégies de prise en charge énonciative), de mettre à distance critique certains éléments des chroniques produites permet l'enclenchement de l'activité de problématisation. Pour le dire dans les termes du cadre de la problématisation, ces mécanismes de prise en charge énonciative sont révélateurs d'une position/identification de certains problèmes qui pourront être explicités puis traités dans la suite des débats.

4/ La gestion de la dissonance entre énoncés ou au sein d'un même énoncé (hétéroglossie) conduit :

- soit à des tentatives de réduction de cette dissonance qui peuvent, dans certains cas, s'accompagner d'une construction des problèmes scientifiques en jeu ;
- soit à l'explicitation d'une question argumentative (pour reprendre la formulation de Plantin) qui permet la formulation du problème. Comme Orange, Lhoste et Orange-Ravachol, (2009) l'ont déjà montré, et nos résultats sont convergents, toutes les questions construites n'ont pas la même valeur du point de vue de la problématisation. Cependant, lorsque la question argumentative coïncide avec un problème biologique, les dynamiques argumentatives que nous avons analysées permettent la construction de ce problème.

Dans les deux situations décrites ci-dessus, les élèves sont amenés à mettre en œuvre des raisonnements plus ou moins explicités qui permettent la construction des problèmes biologiques en jeu dans ces débats. Nous avons montré que l'activité de problématisation s'accompagne, sur le plan langagier, d'une secondarisation des énoncés des élèves qui se lestent progressivement des raisons construites soit en les explicitant, soit en les utilisant. Ils gagnent en cohérence et en cohésion et finissent par rompre avec les chroniques produites initialement. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Jaubert (2000) et Jaubert et Rebière (2000, 2001) sur des suivis longitudinaux au cours de séquence articulant travail oral et travail écrit avec des élèves d'une classe de cycle 3 sur la question de la nutrition du fœtus.

Ces résultats indiquent que l'activité de problématisation au service des apprentissages en biologie est liée de façon étroite à l'activité langagière que les élèves peuvent développer dans les moments de débat scientifique en classe. Elle nécessite que les élèves construisent les outils langagiers qui leur permettent de s'engager dans ce type d'activité. Certains élèves ont déjà partiellement construit les façons de penser, agir et dire propres à l'activité scientifique alors que d'autres sont véritablement en situation de construction de ces outils. Nos résultats ont également mis en avant certaines relations entre l'activité de problématisation, le fonctionnement de la communauté discursive scientifique scolaire et son pilotage par l'enseignant ou le formateur. De ce point de vue, notre recherche pose plus de questions qu'elle n'apporte de réponses.

Enfin, la méthodologie mobilisée pour l'analyse des débats nous a permis de caractériser différents niveaux de problématisation (ou de construction / formulation des nécessités). Nous avons ainsi mis en évidence des « bas niveaux » et des « hauts niveaux » de problématisation. Les « bas niveaux » de problématisation présentent les caractéristiques suivantes :

- les nécessités construites reposent sur des fondements généraux pour la pensée commune qui ne sont pas toujours explicités ;
- les nécessités sont issues de raisonnements dont les prémisses ne sont pas (ou pas toutes) explicitées ;
- les nécessités construites sont isolées, elles ne sont pas mises en relation avec d'autres nécessités.

Ils pourraient correspondre à des problématisations locales avec une faible valeur de généralisation.

Au contraire, les « hauts niveaux » de problématisation sont caractérisés par :

- des nécessités qui proviennent de raisonnements plus explicites (comme dans les exemples de raisonnement par l'inacceptable que nous avons analysés) ;
- des nécessités qui se propagent, c'est-à-dire des nécessités construites à un autre moment du débat, dans une autre situation, que les élèves convoquent dans leurs argumentations²³ ;
- des nécessités qui se lient entre elles, ce qui témoigne d'une première mise en système.

Ces problématisations de « haut niveau » témoignent d'une montée en abstraction, d'une opérationnalité qui indique, nous semble-t-il, un processus de

²³ Ce sont des nécessités qui, construites comme telles, jouent le rôle de contraintes sur les solutions possibles plus loin dans le débat.

conceptualisation puisque les solutions retenues sont liées par un réseau de nécessités.

Le développement du débat scientifique permet (dans certaines conditions qu'il conviendra de déterminer dans des recherches ultérieures, à travers les dispositifs mis en œuvre avant le débat, après le débat, dans l'articulation entre les moments de débat, les moments d'investigation et de mise en texte des savoirs par exemple) de passer d'un niveau de problématisation à un autre, comme le montre le débat sur la nutrition dans une classe de 3^e ou le débat sur le concept d'ancêtre hypothétique commun avec un groupe d'étudiants de PE1.

Comme nous avons essayé de le mettre en évidence au cours de notre recherche, ce processus n'est pas sans heurts. Il est donc temps de parler des obstacles et des relations qu'ils entretiennent avec le processus de problématisation.

3. Problématisation et obstacles : les apports d'une analyse épistémologico-langagière

La question des obstacles dans le cadre de la problématisation est régulièrement posée (Peterfalvi, 2005, 2006 ; Beorchia & Lhoste, 2007) et nous l'avons reprise à notre compte au cours de notre de recherche. Au terme de cette étude, nous pensons avoir trouvé derrière la dénomination « obstacle », des éléments relativement hétérogènes (aussi bien dans leur nature que dans la façon dont ils se manifestent dans l'activité de problématisation). Nous allons, dans cette dernière section, tenter de les distinguer et de les caractériser en nous appuyant sur les analyses conduites dans les chapitres 4 et 5. Il ne s'agit pas de proposer une typologie définitive et étanche des obstacles mais d'essayer de montrer que ce que nous avons appelé obstacle au cours de nos études de cas, même si cela intervient toujours comme un processus de résistance à l'avancée de la pensée (Peterfalvi, 2001), est de nature diverse et surtout n'interagit pas toujours de la même façon avec le processus de problématisation. Cette dernière discussion a principalement une visée prospective.

3.1. L'obstacle fondamental

Ce que nous qualifions d'obstacle fondamental relève de l'impossibilité d'entrer dans une activité de problématisation. Comme le rappelle Fabre, « *Bachelard fait de la problématisation, une division de la pensée qui se juge elle-même. [...] Dans cette pensée en deux dimensions, le sujet connaissant"installe en son propre esprit, en face de son je, une sorte de tu vigilant"* (Bachelard, 1948, p. 60). *Et dans cette dialectique il faut poser une nette hiérarchie : le tu contrôlant relève de l'apodictique et domine le je assertorique* » (2003). Ainsi, comme nous l'avons montré dans le chapitre 1, s'il n'y a ni contraintes ni nécessités, on demeure dans le champ de l'assertorique : rien n'est interrogé, tout est affirmé.

L'obstacle fondamental, c'est celui qui empêche de s'engager dans le second dédoublement entre ce qui relève de l'assertorique et de l'apodictique. Une première distinction peut exister entre des faits et des idées, idées qui permettent d'expliquer ces faits, mais il n'y a rien de nécessaire, il pourrait en être autrement. Dans les débats sur les mécanismes de l'évolution dans la classe de première ES, il nous

semble que nous avons mis en évidence des éléments qui relèvent de ce type d'obstacle. Rappelons quelques éléments de cette discussion à propos de la présentation du premier groupe d'élèves.

1/ *L'acceptation globale, peu argumentée*. Nous avons repéré, au niveau langagier, une intervention de Louise, en 2 : « c'est bien c'est logique », qui témoigne de la difficulté à trouver un positionnement *ad hoc* pour s'engager dans le débat scientifique. Ce positionnement conduit à tout accepter en l'état, rien n'est interrogé²⁴. Dans le monde et l'activité dans lesquels elle se situe, la proposition est logique... mais cette logique n'est pas celle des sciences.

2/ *Mobilisation d'une idée simple, faisant partie des lieux communs, sans l'interroger*. Les élèves mobilisent l'idée d'une transformation de l'individu pour s'adapter aux modifications de l'environnement. Cette idée de transformation facile, qui renvoie pour ce qui concerne les transformations des êtres vivants au mythe de la métamorphose, comme nous l'avons repris à Canguilhem (1990)²⁵ et à Rumelhard (1995), est une idée explicative qui « pense toute seule », qui explique tout, à moindre coût, et ce dans plusieurs domaines des SVT (Orange & Orange-Ravachol, 2004). De ce fait, elle fournit une explication simple, de portée quasi-universelle, qui empêche la formulation du problème et par conséquent toute possibilité de problématisation (ou de construction du problème).

Nous venons donc de mettre à jour deux éléments qui participent de l'acceptation rapide d'une explication, sans examen critique de celle-ci. Dans les deux cas, même si les élèves peuvent avoir l'impression de s'engager dans un travail scientifique (cela pourrait renvoyer d'une part au régime de fonctionnement de la communauté discursive scolaire scientifique et, d'autre part, aux postures des élèves mises à jour par Rebière, 2000), ils restent dans le domaine de l'opinion commune. C'est en cela que nous les considérons comme relevant de l'obstacle fondamental²⁶.

²⁴ Il est d'ailleurs intéressant de noter que c'est derrière l'argument de la « logique » qui, pour elle, a bien à voir avec l'activité scientifique, que Louise se retranche pour, provisoirement, ne pas discuter l'explication qui vient d'être présentée à la classe.

²⁵ « L'idée de métamorphose est sans doute l'indice le plus sûr de la surdétermination de l'objet biologique, si l'on entend par là le fait pour tel objet ou tel comportement de servir de substitut à un grand nombre d'objets ou d'actes interdits. Cette surdétermination concerne d'ailleurs l'animalité plus que la végétalité. La pensée archaïque et la pensée primitive ont fait et font un usage massif et constant de la métamorphose, de la conversion de formes animales spécifiques les unes dans les autres » (Canguilhem, 1990).

²⁶ Pour reprendre une formulation proposée par Peterfalvi (2001), dans ce cas des mécanismes de l'évolution, il y a un « noeud d'obstacles » (Peterfalvi, 2009).

Cependant, nous avons analysé des situations où les élèves s'engagent dans un processus de problématisation et où nous avons également identifié des obstacles.

3.2. Les obstacles qui jouent sur les outils cognitivo-langagiers mobilisés par les élèves pour produire une explication scientifique

Nous avons indiqué que les élèves s'engagent dans le processus de problématisation en mobilisant des outils langagiers disponibles et partagés qui ne relèvent pas, dans un premier temps, de genres seconds spécifiques de l'activité scientifique. Ils mobilisent des genres que nous avons qualifiés de premiers, comme celui de la chronique, qui sont secondarisés lors du travail dans le débat scientifique, sous forme de récit qui est bien un genre second par rapport à la chronique mais qui n'est pas spécifique de l'activité scientifique. Ainsi, pour s'engager dans une problématisation scientifique, les élèves dont nous avons observé l'activité utilisent les outils langagiers qui sont à leur disposition et qui leur permettent d'agir dans la situation de débat de classe. Or ces outils langagiers peuvent être, en eux-mêmes, porteurs d'obstacle comme nous allons le montrer maintenant dans le cas de la mise en récit qui accompagne, dans notre recherche, aussi bien la problématisation en biologie fonctionnaliste que les problématisations en biologie historique.

3.2.1. Mise en récit et obstacles à la construction de savoirs scientifiques

3.2.1.1. Le processus de mise en récit : un obstacle ?

Comme le précise Ricœur, la composition de l'intrigue est « *enracinée dans une pré-compréhension du monde de l'action* » (1983, p. 108), ce qui confère au processus de mise en récit une forte dimension dialogique, c'est-à-dire que les stratégies mobilisées dans la mise en récit importent, avec elles, des savoirs culturels construits en dehors du champ scientifique. Cette dimension explique l'intégration, aux explications scientifiques qu'ils produisent, de schémas de compréhension de

l'action extérieurs à l'univers scientifique lors de la mise en texte de l'activité de problématisation. Ricœur rappelle que ces actions « *impliquent des buts dont l'anticipation ne se confond pas avec quelque résultat prévu ou prédit mais engage celui dont l'action dépend. Les actions, en outre, renvoient à des motifs qui expliquent pourquoi quelqu'un fait ou a fait quelque chose, d'une manière que nous distinguons clairement de celle dont un événement physique conduit à un autre événement physique. Les actions ont encore des agents qui font et peuvent faire des choses qui sont tenues pour leur œuvre ou, comme on dit en français, pour leur fait : en conséquence, ces agents peuvent être tenus pour responsables de certaines de leurs actions* » (*ibid.*, p. 109). L'importation de tels schémas de causalité oriente ainsi les inférences, les raisonnements des élèves et le format des explications attendues, ce qui a des conséquences sur l'activité de problématisation. C'est en cela que la mise en intrigue pourrait avoir une fonction d'obstacle.

Prenons l'explication du deuxième groupe d'élèves engagés dans un débat sur les mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES. Une grenouille est le héros de l'histoire racontée par ces élèves, elle subit une épreuve (une modification de son information génétique qui provoque l'apparition d'un nouveau caractère). Comme dans un format classique (cf. le genre du roman grec décrit par Bakhtine, 1978, p. 239-260), le récit est construit sur un retour à un état d'équilibre, auquel on pourrait dire que les élèves s'attendent. Ils vont pouvoir s'engager dans une activité de problématisation qui peut se traduire par la construction de nécessités permettant un tel dénouement. Dans l'exemple présenté, les élèves vont construire (dans l'épisode ES-5-7) une nécessité d'utilité et d'usage des caractères apparus qui permet d'expliquer le maintien ou la disparition des caractères en fonction des caractéristiques du milieu de vie. Ainsi, à la fin de l'histoire, la grenouille est adaptée à son environnement (nouvel état d'équilibre).

Qu'est-ce que ce processus ne permet pas de penser dans le cas présent ?

- il ne permet pas de penser que la grenouille en question peut tout simplement disparaître compte tenu des caractères apparus puisque les récits sont construits sur la permanence du personnage principal (dans le cas présent, le personnage principal est constitué de la série temporelle des grenouilles). En effet, s'il n'y a plus de personnage principal, il n'y a plus d'histoire ;
- la personnification consubstantielle de la mise en récit, même si elle permet ici d'envisager non pas simplement une grenouille, mais une série temporelle de grenouilles, ne permet pas de penser en termes de population (qui correspond, comme nous l'avons développé dans le chapitre 5, à une série, à la fois, dans le temps et dans l'espace), condition de possibilité à la construction

du concept de sélection naturelle. Nous avons d'ailleurs montré que l'accès à une pensée populationniste est difficile pour les élèves de première ES.

Dans le débat sur la nutrition, la personnification possible des aliments pourrait ne pas permettre de penser en termes de parties. Ce n'est pas le cas dans le débat analysé dans la classe de 3^e bien que nous ayons vu fonctionner cette difficulté dans l'analyse d'autres débats sur ce thème avec des élèves de CE1 par exemple²⁷.

Dans ces différents exemples, il nous semble que la situation est encore plus compliquée. Nous pensons qu'une partie de ces fonctionnements, en obstacle, sont en relation avec un fait de langage, puisqu'ils sont liés à la forme du récit et au processus de mise en récit. Mais nous pensons qu'il y a plus qu'un fait de langage. En effet, le processus d'identification à un personnage permet un ensemble de projections dont s'accommode bien une pensée non décentrée et, en ce sens, il pourrait y avoir un lien avec les obstacles fondamentaux.

De plus, les récits sont balisés par un ensemble de valeurs qui déterminent la vraisemblance des récits produits²⁸. Même si nous n'avons pas d'exemples issus de nos études de cas (cette discussion a également une visée prospective), nous pensons que c'est :

- dans l'orientation des inférences (certains inférences ne vont plus être possibles dans l'univers scientifique, comme celles qui mobilisent l'intentionnalité) ;
- dans les choix de format des explications produites (certains formats ne vont plus être acceptables) ;
- dans la mise en œuvre de certains raisonnements ;

que la mobilisation de ces outils cognitivo-langagiers peut être porteuse d'obstacles.

Ils se distinguent en cela des obstacles fondamentaux qui empêchent toute entrée dans un processus de problématisation, même s'il y a sans doute des articulations possibles entre les différents types d'obstacles. Pour pouvoir problématiser en science, les élèves vont devoir abandonner certains schémas disponibles pour pouvoir en envisager d'autres, ce qui se traduit par de nouvelles mises en relations, de nouvelles catégories (comme celle de population ou de pools de molécules), de nouvelles formes de causalité (comme les régulations au sein des systèmes complexes, Rumelhard, 1994 ; Schneeberger, 1992, 1994). De la même façon, les textes produits par les élèves vont devoir passer d'un système de valeur moral à des

²⁷ Séminaire *Problématisation, conceptualisation & activités langagières en sciences*, coordonné par C. Orange. Compte-rendu de la séance du 20 janvier 2006 (document de travail interne).

²⁸ « *La fiction littéraire la trouve [sa légitimité] dans le possible, sans autre limite que la vraisemblance* » (Bruner, 2002/2005, p. 27).

registres explicatifs scientifiques²⁹. Au cours du débat scientifique, les élèves sont confrontés à la coexistence de différents réseaux de sens qui ont un ancrage dans des registres différents (le récit, l'explication scientifique). Ainsi, c'est à la coexistence de deux mondes et au passage d'un monde à un autre que les élèves sont confrontés. Accéder à un mode de pensée scientifique nécessite une refiguration des savoirs des élèves dans le contexte des savoirs scientifiques ; cette refiguration passe nécessairement par un travail épistémologico-langagier.

Le débat scientifique doit permettre aux élèves de construire progressivement une position énonciative pertinente pour le champ de sciences (Bernié, 2002). Mais, cette activité de décontextualisation / recontextualisation des savoirs dans un univers scientifique peut être source d'obstacles. Le passage du « monde du récit » au « monde scientifique » nécessite la mise à l'épreuve des récits produits qui permet de retenir ou non le récit comme explicatif d'un phénomène scientifique. Ainsi, c'est le retour argumentatif sur les récits produits par les élèves qui pourrait permettre au récit de conserver une place dans un discours scientifique. L'activité de problématisation favorise cette prise de distance par rapport aux récits premiers. Dans ce sens, le récit constitue bien un obstacle selon la définition donnée par Peterfalvi (2001), c'est-à-dire qu'elle est à la fois un moyen pour les élèves (un scénario langagier au sens de Bruner – 1993, p. 308 - culturellement disponible) de s'engager dans une activité scientifique et en ce sens, c'est un outil, mais simultanément un moyen qui peut limiter l'accès à une mise en texte scientifique. En effet, le récit sature le champ des possibles d'éléments qui ne sont scientifiquement pas pertinents (intentions, buts, émotions, affectivité...) et limite le retour argumentatif sur les mises en textes produites puisque ces derniers sont conformes aux canons du récit. De ce point de vue, la présence dans la classe de récits différents va être favorable à leur mise à distance ce qui va permettre d'enclencher le processus de problématisation.

3.2.1.2. Mise en récit et linéarisation du raisonnement des élèves

Les trois tomes de *Temps et Récits* de Ricœur placent au cœur de la réflexion le rapport entre le temps du récit et le temps de la vie et des actions effectives. Nous n'allons pas développer sa réflexion mais nous pointerons certaines difficultés liées à

²⁹ En ce sens, on pourrait dire que les valeurs qui balisent les récits pourraient être des équivalents des théories scientifiques sous-jacentes aux explications scientifiques construites par les scientifiques.

la mise en texte des savoirs scientifiques avec le temps des événements dont il est question dans les savoirs produits.

Dans le débat sur la nutrition dans la classe de 3^e étudiée dans le chapitre 4 de ce mémoire, nous avons mis en évidence trois types d'énoncés disponibles pour s'engager dans une explication scientifique. Les deux premiers types d'énoncés présentent les événements qu'ils décrivent selon une linéarité temporelle. Le troisième type d'énoncé tente de rompre avec cette linéarité. La mise en ordre chronologique que l'on retrouve dans toutes les chroniques et dans certains récits constitue « *un obstacle à la compréhension du fonctionnement des systèmes complexe* » (Orange & Orange, 1995, p. 47), d'une part, à cause du syncrétisme entre le temps et la causalité et, d'autre part, parce que la construction de la causalité chez l'enfant passe par une causalité d'expérience liée au temps. Maxime, dans l'intervention 336 (tableau 4-12), tente de développer un modèle compartimental. La tentative est très difficile puisque le langage ne permet pas de dire la simultanéité. D'un point de vue didactique, cela pose un véritable problème à l'enseignant, déjà mis en avant par Orange et Orange (1995, p. 40), Orange-Ravachol (2007) pour les SVT et par Viennot (1993, 2003, 2006) pour les sciences physiques. En effet, la construction d'un raisonnement linéaire est pratiquement la seule forme de mise en texte du savoir disponible pour les élèves. Pour qu'ils puissent accéder à une pensée physiologique, il faudra les aider à construire des mises en texte du savoir alternatives.

3.2.2. L'analogie comme preuve dans les raisonnements des élèves

Nous ne reviendrons pas en détail, sur l'exemple de l'analogie entre les mécanismes de l'apprentissage et la possibilité d'une modification génétique adaptative discutée dans la section 2.2.4. de ce chapitre. Dans ce cas, nous avons vu que l'analogie fonctionne comme un obstacle, car elle n'est pas questionnée : il n'y a pas de discussion sur les conditions qui permettent de réaliser cette analogie, il n'y a pas de vigilance épistémologique.

Dans les deux types de cas regroupés sous l'appellation « obstacles qui jouent sur les outils cognitivo-langagiers mobilisés par les élèves pour produire une explication scientifique », il faut noter que les obstacles portent sur les types de relation que font intervenir les élèves pour engager le mouvement vers l'apodictique. Ces obstacles ont à voir avec ce que les élèves :

- pensent être le format attendu de l'explication scientifique ;

- ce qui peut fonder la validité d'une explication.

Ces résultats ouvrent des pistes de recherche qui viseraient à examiner la relation entre ce type d'obstacles et la conception que les élèves (et l'enseignant) ont de ce que veut dire expliquer en SVT.

3.2.3. Conclusion

Pour conclure, si ces obstacles jouent au niveau des mises en relation entre contraintes et nécessités, ils relèvent principalement du cadre épistémique tel que nous l'avons défini dans la section 1.1.1. du chapitre 1 de ce mémoire, puisqu'ils dépendent des outils cognitivo-langagiers dont disposent les élèves pour s'engager dans l'activité de problématisation. Examinons maintenant un troisième type d'obstacle qui ne concerne plus les modes de raisonnements qui lient contraintes et nécessités, mais qui relève de la construction des données qui vont être à la base de certains raisonnements.

3.3. Les obstacles liés aux contraintes théoriques mobilisées dans certains raisonnements

Au cours de nos études de cas, nous avons également parlé d'obstacles alors que les élèves sont engagés dans un travail de construction de raisons où les raisonnements qu'ils mobilisent sont logiquement acceptables. Nous définissons alors un troisième type d'obstacle.

Reprenons deux exemples.

1/ Débat sur la nutrition dans la classe de 3^e, la nécessité d'un tri dans les épisodes 2 et 5 est construite de la façon suivante :

Épisode 2 :

30	Enseignant :	Pourquoi il faut que ce soit trié
31	Benoît :	Parce que certaines choses ne peuvent pas être utilisées pour le corps

Épisode 5 :

53	Kévin :	Bah, tout ce qui est mauvais, il faut pas qu'il aille dans le sang
54	Enseignant :	Pourquoi
55	Kévin :	Pour pas attraper des maladies

Nous avons déjà discuté de ces exemples à la section 3.3.2 du chapitre 4 et nous ne reviendrons pas sur l'interprétation que nous en avons faite. Ce qui nous importe de discuter ici, c'est le fondement sur lequel repose le raisonnement qui permet de construire un premier niveau de la nécessité de tri. Ce raisonnement mobilise des fondements généraux ou topoï qui permettent dans le cas présent de construire une nécessité pertinente compte tenu du problème au travail dans ce débat. Dans un autre problème (comme dans un problème d'assimilation comme nous l'avons défini dans le chapitre 4), ce même fondement général pourraient avoir une fonction d'obstacle par rapport à l'activité de problématisation des élèves.

2/ Dans le débat concernant les mécanismes de l'évolution dans la classe de première ES, la mobilisation par les élèves du « fait adaptatif » comme d'une contrainte empirique alors que, dans un cadre évolutionniste, l'adaptation est une conséquence de la sélection naturelle, constitue un obstacle à la construction de ce dernier concept, comme nous l'avons montré dans le chapitre 5.

Ces deux exemples indiquent que ce troisième type d'obstacles a à voir avec le cadre épistémique. En effet, une des fonctions que nous avons attribuée au cadre épistémique est d'orienter les inférences dans le processus de problématisation. Les relations entre ce type d'obstacle et l'activité de problématisation posent des questions didactiques intéressantes. Dans certains cas, l'obstacle a une fonction provisoire d'« outil » qui permet le développement d'une problématisation pertinente : se pose la question du moment où l'on revient sur le travail de l'obstacle. Dans d'autres cas, l'obstacle joue pleinement son rôle d'obstacle et oriente l'activité de problématisation dans des directions peu pertinentes du point de vue épistémologique : se pose alors la question du pilotage de telles situations et des interventions possibles pour traiter de ces obstacles.

3.4. Conclusion

L'étude préalable sur le thème des fonctions de nutrition nous a permis de faire l'hypothèse d'un quatrième type d'obstacle que nous n'avons pas pu observer dans les études de cas menées. Il pourrait s'agir d'obstacles qui empêcheraient les transformations au sein du cadre épistémique. Pour reprendre certains de nos exemples, ces obstacles pourraient empêcher le passage d'un feuillet de problématisation à un autre feuillet : le/les obstacle(s) qui empêche(nt) le passage d'une problématisation de l'assimilation dans un cadre mécaniste à une problématisation de l'assimilation dans un cadre biochimique par exemple. En général, ce phénomène se traduit par la difficulté à passer d'un registre explicatif à un autre (du mécanisme au physiologique par exemple) et semble lié à l'affirmation selon laquelle les obstacles empêchent les ruptures, les passages d'un registre explicatif à un autre³⁰. Compte tenu de l'état actuel de nos travaux, il nous semble difficile de dire si cette quatrième catégorie est vraiment distincte des trois autres (il y a nécessairement des liens entre ces catégories d'obstacles, puisque nous avons indiqué qu'elles relèvent toutes, pour partie au moins, du cadre épistémique), mais nous pouvons avancer l'hypothèse que ces obstacles, de quatrième type, correspondent à des *patterns* généraux de pensée qui pourraient s'instancier dans chacune des autres catégories d'obstacles. De ce point de vue, on pourrait établir des liens entre les caractérisations générales des registres explicatifs (animisme, mécanisme, vitalisme) et le fonctionnement du cadre épistémique. La figure 6-1 tente une représentation de ces différentes catégories d'obstacles et de leur lien avec les processus de problématisation décrits dans le cadre des « espaces contraintes et nécessités ».

³⁰ Il convient de relier cette question aux recherches d'Orange-Ravachol et Beorchia (2007) sur les principes structurants en SVT : comment faire, d'un point de vue didactique, pour que les élèves mobilisent ces principes, dont la fécondité « *tient notamment au fait qu'ils existent "contre" des idées d'une pensée immédiate* » comme l'ont montré nos deux collègues (*ibid.*, p. 8).

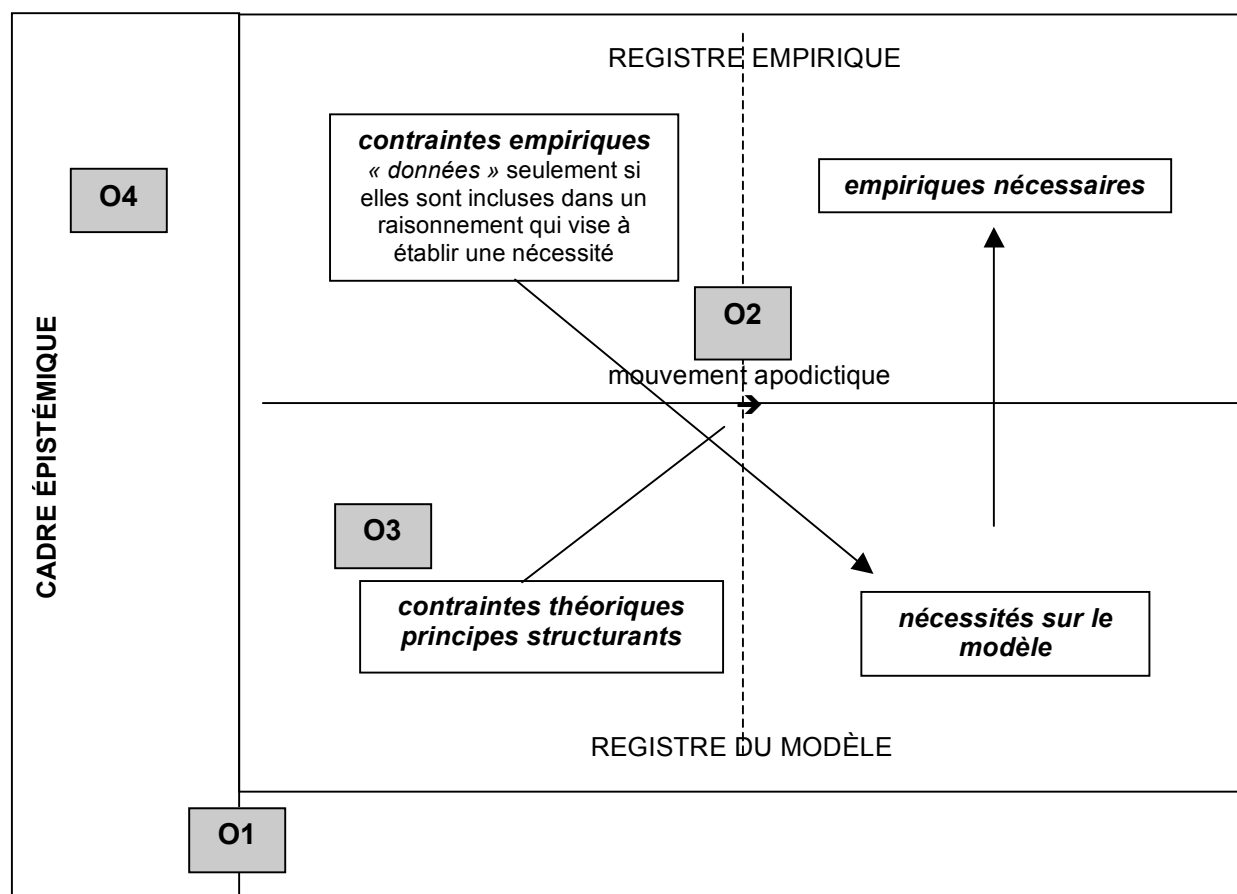
Figure 6-1. Types d'obstacles et liens avec le processus de problématisation

O1 désigne l'obstacle fondamental qui empêche l'entrée dans le dédoublement assertorique/apodictique

O2 correspond aux obstacles liés aux outils cognitivo-langagiers mobilisables/mobilisés par les élèves

O3 correspond aux obstacles liés au choix des contraintes théoriques mobilisées

O4 désigne les obstacles qui agissent dans le cadre épistémique



Pour conclure cette section, il convient de souligner que c'est bien à partir des analyses épistémologico-langagières que nous avons pu avancer quelques propositions afin de réintroduire la question des obstacles dans le cadre de la problématisation en SVT. Nous pensons que c'est l'un des apports de ce type d'analyse que de poser les questions dans une dimension épistémologique, du point de vue des outils cognitivo-langagiers disponibles que les élèves peuvent mobiliser au cours des débats scientifiques en classe et surtout du lien entre ces deux dimensions. C'est ce troisième point de vue qui pourrait nous permettre d'avancer dans la compréhension des relations entre obstacle et problématisation.

Cependant, ces premiers résultats ouvrent plus de pistes de recherche à venir qu'ils n'apportent de réponses à la question des relations entre problématisation et obstacles. Il conviendrait de vérifier si les distinctions entre quatre types d'obstacles

sont pertinentes sur d'autres objets d'étude, s'il n'y a pas des recouvrements ou des articulations possibles entre ces types d'obstacles (le cas de l'évolution semble relativement intéressant de ce point de vue car un ensemble d'obstacles de différents types semble jouer le rôle d'un nœud d'obstacle dont il faudrait expliciter le fonctionnement dans le cadre d'un processus de problématisation). Il faudra également croiser notre catégorisation avec d'autres (comme celles proposées par Fabre et Orange, 1997 ou Astolfi et Peterfalvi, 1993) pour préciser les zones de recouvrement possibles et ce qu'elle permet d'envisager de nouveau.

Même si nos premiers résultats montrent que l'activité de problématisation permet le travail de certains obstacles (« celui du tuyau continu à paroi perméable » dans le débat sur la nutrition en classe de 3^e, celui de la « transformation facile » dans le débat sur les mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES), il reste, d'un point de vue didactique, à réfléchir aux conditions à mettre en œuvre pour permettre une « *identification de l'obstacle* » (Astolfi & Peterfalvi, 1997, p. 212).

Conclusion générale

Nous avons engagé cette recherche avec l'ambition de mettre à jour les relations entre l'activité de problématisation, l'activité langagière des élèves et les apprentissages dans les sciences de la vie.

Dans un premier temps, il a fallu s'assurer de la compatibilité des concepts empruntés à des champs théoriques différents : d'une part, Bachelard, Canguilhem, Popper, d'autre part Vygotski et Bakhtine. Cela nous a conduit à poursuivre le développement du cadre théorique de la problématisation, par l'entremise de Meyer, qui nous a permis d'envisager la rationalité du moment de la découverte scientifique. Elle fait appel, en plus de la logique formelle (même si Meyer en réaction au positiviste tend à les opposer), à une logique context-dépendant. C'est à partir de cette idée que nous avons repris le cadre théorique de la problématisation pour tenter quelques élucidations théoriques. L'idée d'une logique context-dépendant nous a également permis de faire le lien avec l'approche sociohistorique de Bakhtine et de Vygotski. À partir de là, nous avons disposé des moyens et des outils permettant d'analyser, au plus près, ce qui se dit, comment cela se dit, dans des débats scientifiques en classe pour comprendre, à partir d'indices relevés à l'aide de nos outils d'analyse, comment des élèves pouvaient s'engager dans la construction de savoirs biologiques problématisés.

Quel bilan pouvons-nous faire de nos investigations au terme de cette recherche ? Quelles sont les limites de ce travail ? Quels chantiers permet-elle d'envisager ? Ce sont les trois questions auxquelles nous allons tenter de répondre synthétiquement dans cette conclusion générale qui fait suite à la discussion générale présentant de façon détaillée l'ensemble de nos résultats.

I. Les apports de cette recherche

Comme nous l'avions annoncé dans l'introduction de ce travail, cette recherche avait une double perspective prospective et interprétative. Du point de vue prospectif, nous avons envisagé deux directions : un développement du cadre théorique de la problématisation tel qu'il est travaillé au sein de notre laboratoire et un développement plus méthodologique pour suivre le processus de problématisation au sein de débat scientifique.

Le travail d'élucidation théorique, à partir de points critiques identifiés au cours de travaux précédents (autour des relations en problématisation, problèmes et obstacles), nous a permis d'avancer plusieurs pistes de réflexion conduisant à proposer des outils modifiés par rapport à ceux utilisés au sein de l'équipe.

Ainsi nous avons introduit les « espaces contraintes et nécessités » centrés sur les raisonnements qui articulent contraintes et nécessités. Cette présentation, qui reprend l'ensemble des distinctions introduites par Christian Orange depuis une dizaine d'années en les réorganisant, a introduit une nouvelle catégorie : celle des empiriques nécessaires dont il a fallu discuter la pertinence avant de la mettre à l'épreuve des problématizations historiques et scolaires. Nos résultats montrent que la catégorie des empiriques nécessaires peut permettre :

- de rendre compte des relations entre la construction d'un problème et de sa résolution par la mise en œuvre de tests empiriques. Une analyse épistémologique préalable, sur le thème de la nutrition, nous a permis d'envisager comment, avec l'augmentation du niveau d'élaboration d'un problème, les empiriques nécessaires devenaient de plus en plus précis, jusqu'à pouvoir orienter les investigations empiriques ;

- d'envisager la réinterprétation de certains éléments du registre empirique au cours d'un processus de problématisation. Cette perspective nous est apparue lors de l'analyse, avec les outils de la problématisation, de la construction du concept de sélection naturelle par Darwin. C'est par le biais de la catégorie des empiriques nécessaires que nous avons interprété le changement de statut de l'adaptation dans le cadre darwinien qui, de simple fait d'observation, peut devenir un empirique nécessaire.

Nous avons également introduit la notion de cadre épistémique qui reprend le registre explicatif de Christian Orange en l'étendant. La notion de cadre épistémique pourrait être une piste permettant d'envisager les relations entre la problématisation et la dimension curriculaire des apprentissages scientifiques. Compte tenu de la

constitution de notre corpus, nous n'avons pu confronter cette hypothèse à des situations scolaires précises.

Notre recherche a permis de développer une nouvelle façon d'analyser les débats scientifiques en classe du point de vue du cadre théorique de la problématisation. Jusque-là, les analyses étaient essentiellement épistémologiques. La méthodologie mise en œuvre ici mobilise des analyses épistémologico-langagières adossées à une étude épistémologique préalable qui contrôle les interprétations faites. Cette méthodologie, et nous entrons là dans la dimension interprétative de notre recherche, a permis d'obtenir les résultats suivants qui montrent :

- la validité de l'hypothèse faite d'une étroite articulation entre les pratiques de savoir et les pratiques langagières par une mise à plat, pour trois débats scientifiques, de l'ensemble des mouvements épistémologiques et langagiers en jeu dans les échanges ;
- la diversité des stratégies cognitivo-langagière nécessaires à la construction de contraintes et de nécessités. L'accès aux raisons (pour reprendre la terminologie de Christian Orange) nécessite la mise en œuvre d'un panel de compétences cognitivo-langagières : capacité à construire un objet de discours suffisamment précis, capacité à mettre à distance les énoncés produits pour pouvoir étudier leur validité, les comparer, mesurer leur compatibilité avec ce que l'on sait par ailleurs ou ce qui a été construit précédemment, capacité à suspendre le jugement afin d'envisager de nouveaux possibles. Dans les épisodes fortement argumentatifs, l'opération nécessite de pouvoir endosser, successivement, les différentes positions énonciatives décrites par Plantin (dans le modèle du trilogue argumentatif : position de proposant, d'opposant et de tiers, rôle important puisque c'est lui qui prend en charge les questions argumentatives). Cette nécessité a des conséquences quant à la souplesse des postures adoptées par les élèves (et des stratégies langagières qui vont de pair) ;
- la complexité des liens entre problématisation scientifique et secondarisation. Dans deux études de cas, nous avons souligné la propension des élèves à mobiliser des chroniques pour entrer dans l'explication. Nous avons montré que la mise en discussion de ces premières chroniques s'accompagne d'une secondarisation des énoncés des élèves, mais pas nécessairement d'une problématisation. Cela pourrait signifier que les genres seconds « d'arrivée » du processus de secondarisation ne sont pas adaptés à l'activité scientifique

scolaire (comme dans le cas d'un passage chronique -> récit). Cela pose la question du fonctionnement de la communauté discursive scolaire scientifique ;

- la difficulté à mettre en texte la problématisation. Dans deux cas (Maxime en troisième et Narayan dans le groupe de PE1), des élèves lorsqu'ils interviennent dans le débat permettent l'avancée de la problématisation. Or quand ils doivent présenter leurs explications, même si le genre de l'énoncé relève du genre explicatif, les raisons ont disparu du texte (elles sous-tendent l'explication, mais elles ne sont pas explicitées) ;

- la possibilité d'avoir des indicateurs sur le niveau de problématisation à travers le niveau d'explicitation des raisonnements, à travers les montées en généralités que nous avons décrites ;

- la faculté de reposer la question des obstacles dans le processus de problématisation par l'intermédiaire d'un nouvel éclairage qui nous a permis d'identifier très précisément la mise au travail de certains obstacles au cours du débat.

Tous ces résultats permettent d'avancer dans la compréhension du processus de problématisation et de ses relations avec les apprentissages scolaires. Ils montrent également la complexité de ce qui se joue sur le plan épistémologique comme langagier et la difficulté à piloter de telles situations d'enseignement-apprentissage.

2. Limites et prolongements de cette recherche

Les limites de notre travail sont à mettre en relation avec la méthodologie d'analyse extensive et à un niveau microscopique sur des moments précis du processus d'apprentissage. De ce fait, les principales limites de ce travail concernent :

- le niveau de généralité de nos conclusions qui reposent sur un nombre réduit de cas et uniquement sur deux domaines biologiques. Ainsi, la question de l'influence de thèmes abordés sur, par exemple, l'utilisation de la chronique pour entrer dans l'explication se pose. Il n'est pas sûr que, dans le cadre de la génétique, que nous travaillons par ailleurs, les élèves mobilisent cette forme de genre premier ;

- l'impossibilité, compte tenu de la constitution de notre corpus, de réaliser des études dans une perspective curriculaire et de mettre à l'épreuve les hypothèses issues de nos développements théoriques. Certaines méritent d'être précisées et

nous aurions besoin de les faire fonctionner sur des cas précis pour mesurer leur portée heuristique ;

- la focalisation sur un moment ciblé de l'activité scientifique scolaire, même si elle donne des indications précises sur des mouvements de conceptualisation, mériterait des prolongements sur un plan horizontal. Par exemple, le suivi d'élèves au cours d'une séquence d'apprentissage pourrait permettre de mieux comprendre comment s'articulent problématisation et mise en texte d'un savoir problématisé, problématisation et investigations empiriques.

Nous pensons que nous avons construit un outil méthodologique, qui nécessite d'être encore affiné et questionné d'un point de vue théorique. Il pourrait cependant nous permettre de développer, dès à présent, nos recherches dans les différentes dimensions que nous venons de mettre en évidence en soulignant ce qui manquait à cette recherche. Le chantier est vaste.

Bibliographie

- Adam J.-M. (1984). Des mots au discours : l'exemple des principaux connecteurs. *Pratiques*, n°43, p. 107-122.
- Adam J.-M. (1992). *Les textes : types et prototypes*. Paris : Nathan.
- Allieu-Mary N., Bisault J., Le Bourgeois R. & Vérillon P. (2004). Vers l'appréhension de postures disciplinaires. Étude de pratiques argumentatives en histoire-géographie, sciences et technologie. In J. Douaire (coord.). *Argumentation et disciplines scolaires*. Paris : INRP.
- Apotheloz D. (1984). La hiérarchie des raisonnements. In J.-B. Grize (éd.). *Sémiotique du raisonnement*. Berne : Peter Lang, p. 57-66.
- Apotheloz D. & Miéville D. (1989). Matériaux pour une étude des relations argumentatives. In C. Rubattel (éd.). *Modèles de discours. Recherches actuelles en Suisse Romande*. Berne : Peter Lang, p. 247-260.
- Aron R. (1989). *Leçons sur l'histoire*. Paris : Éd. De Fallois.
- Arsac (1989). In G. Arsac , M. Develay & A. Tiberghien (éd.). *La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie*. Villeurbanne : IREM : LIRDIS.
- Artigue M. (2002). Ingénierie didactique : quel rôle dans la recherche aujourd'hui. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, n° 8.
- Aster*, n° 6 (1988). « Les élèves et l'écriture en sciences ». Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9064> (consulté le 5 octobre 2008).
- Aster*, n° 24 (1997). « Obstacle : travail didactique », coordonné par Brigitte Peterfalvi. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8550> (consulté le 5 octobre 2008).
- Aster*, n° 25 (1997). « Enseignants et élèves face aux obstacles », coordonné par Brigitte Peterfalvi. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8551> (consulté le 5 octobre 2008).
- Aster*, n° 37 (2003). « Interactions langagières 1 », coordonné par Brigitte Peterfalvi & Daniel Jacobi. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8568> (consulté le 5 octobre 2008).
- Aster*, n° 38 (2004). « Interactions langagières 2 », coordonné par Brigitte Peterfalvi & Daniel Jacobi. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8569> (consulté le 5 octobre 2008).
- Astolfi J.-P. (1986). Les langages et l'élaboration de la pensée scientifique. *Le français aujourd'hui*, n° 74, p. 51-57.
- Astolfi J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- Astolfi J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue française de pédagogie*, n° 103, p. 5-18.
- Astolfi J.-P. (2002). L'œil, la main, la tête. *Cahier pédagogique*, n° 409, p. 15-18.
- Astolfi J.-P. (2007). *Petite histoire didactique des idées de problème et d'obstacle*. Communication aux journées du CREN, 2007.
- Astolfi J.-P., Giordan A., Gohau G., Host V., Martinand J.-L., Rumelhard G. et Zadounaïski G. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* Paris : PUF.
- Astolfi J.-P., Peterfalvi B. & Vérin A. (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Paris : INRP

- Astolfi J.-P. & Peterfalvi B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, n° 16, p.103-149.
- Astolfi J.-P. & Peterfalvi B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts, *Aster*, n° 25.
- Astolfi J.-P., Darot E., Ginsburger-Vogel Y. & Toussaint J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Paris : Bruxelles : De Boeck.
- Astolfi J.-P., Darot E., Ginsburger-Vogel Y. & Toussaint J. (1997). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Paris : Bruxelles : De Boeck.
- Audigier F. & Fillon P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques. Une approche pluridisciplinaire*. Paris : INRP.
- Bachelard G. (1928). *Essai sur la connaissance approchée*. Paris : Vrin.
- Bachelard G. (1929). *La valeur inductive de la relativité*. Paris : Vrin
- Bachelard G. (1933). *Les Intuitions atomistiques*. Paris : Boivin.
- Bachelard G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : PUF.
- Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : PUF.
- Bachelard G. (1940). *La philosophie du non*. Paris : PUF.
- Bachelard G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Bachelard G. (1953). *Le matérialisme rationnel*. Paris. PUF.
- Bachelard G. (1971). *L'engagement rationaliste*. Paris : PUF.
- Bachelard S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier. *Élaboration et justification des modèles*. Paris : Maloine.
- Bakhtine M. (1978). *Esthétique et création du roman*. Paris : Gallimard.
- Bakhtine M. (1984). *Esthétique de la création verbale*. Paris : Gallimard.
- Banet E. & Nunez F. (1997). Teaching and learning about human nutrition: a constructivist approach. *International Journal of Science of Education*, vol. 19, n° 10.
- Barthes R. (1984). *Le bruissement de la langue*. Paris : Éd. du Seuil.
- Barthes R. (1985). *L'aventure sémiologique*. Paris : Éd. du Seuil.
- Bautier E. (1995). *Pratiques langagières, pratiques sociales : de la socio-linguistique à la sociologie du langage*. Paris : L'Harmattan.
- Bautier E. & Rochex J.-Y. (1998). *L'expérience scolaire des nouveaux lycéens. Démocratisation ou massification ?* Paris : SESJM : Armand Colin.
- Beorchia F. (2003). *La communication nerveuse : conceptions des apprenants et problématisation. Importance des explications mécanistes et vitalistes*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, université de Nantes, Nantes.
- Beorchia F. (2004). Débats scientifiques à l'école élémentaire, au collège et chez les PE sur le thème de la communication nerveuse : indicateurs de problèmes perçus et construits ? *Actes du colloque international « Faut-il parler pour apprendre ? »* (actes sur cédérom). Arras, mars 2004.
- Beorchia F. & Lhoste Y. (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collège ? *Recherche en éducation*, n° 3, p. 29-50. Disponible sur Internet : <http://www.cren-nantes.net/spip.php?article60> (consulté le 18 mai 2008).

- Beorchia F. & Lhoste Y. (2008). Conditions de la problématisation en SVT. Étude de cas sur le mouvement du bras dans le premier degré. 5^e colloque du réseau PROBLEMA. 12 et 13 juin 2008. Rhodes.
- Bernard C. (1865). *Introduction à la médecine expérimentale*. Paris : Flammarion.
- Bernard C. (1965). *Cahier de notes (1850-1860)*. Paris : Gallimard.
- Bernié J.-P. (1996). *Quelle linguistique pour une culture de l'écrit ? Approche communicationnelle des textes et discours et didactique du lire-écrire*. Mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches en sciences du langage, université Toulouse 2, Toulouse.
- Bernié J.-P. (1998). Éléments théoriques pour une didactique interactionniste de la langue maternelle. In M. Brossard & J. Fijalkow (éd.). *Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotkiennes*. Pessac: Presses universitaires de Bordeaux, p. 155-197.
- Bernié J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? *Revue française de pédagogie*, n° 141, p. 77-88.
- Berthelot J.-M. (1990). *L'intelligence du social*. Paris : PUF.
- Best F. (1973). *Pour une pédagogie de l'éveil*. Paris : Armand Colin.
- Blandin (1975). Les problèmes conceptuels et méthodologiques en écologie biocénétique. *Revue des questions scientifiques*, n°3.
- Boiron V. (2004). *Conduites et mouvements interprétatifs lors de relectures d'albums et de reprises narratives dialoguées. Interactions adulte-texte-enfant à l'école maternelle*. Thèse de sciences du langage non publiée, université René-Descartes-Paris 5, Paris.
- Bomchil S. & Darley B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster*, n°26, p. 85-108.
- Borzeix A. (2001). Le travail et sa sociologie à l'épreuve du langage. In A. Borzeix & B. Fraenkel (dir). *Langage et Travail. Communication, cognition, action*. Paris : CNRS, p. 55-87.
- Brabet A. (2008). *Évolution de l'enseignement de la digestion de 1992 à 2007 à travers les manuels scolaires*. Mémoire de Master 2 non publié, UMR STEF ENS Cachan, INRP, UniverSud, Cachan.
- Braustein J.-F. (2003). Thomas Kuhn lecteur de Ludwik Fleck. *Archives de Philosophie*, Vol. 66, n°4, p. 403-422.
- Bronckart J.-P. (1985). *Le fonctionnement des discours. Un modèle psychologique et une méthode d'analyse*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Bronckart J.-P. (1996). *Activité langagière, textes et discours*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Brossard M. (1989). « Espace-discursif et activités cognitives : un apport de la théorie vygotkienne », in *Enfance*, vol. 42, n°1-2.
- Brossard M. (1997). Pratiques d'écrit, fonctionnements et développements cognitifs. In C. Moro, B. Schneuwly & M. Brossard (éd.). *Outils et signes. Perspectives actuelles de la théorie de Vygotski*. Berne : Peter Lang.
- Brossard M. (1998). Approche socio-historique des situations d'apprentissage de l'écrit. In M. Brossard & J. Fijalkow (éd.). *Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotkiennes*. Pessac: Presses universitaires de Bordeaux, p. 37-50.
- Brossard M. (2002). Apprentissage et développement : tension dans la zone proximale de développement. In Y. Clot (éd.). *Avec Vygotski*. Paris : La dispute.
- Brossard M. (2004). *Vygotski, lectures et perspectives de recherches en éducation*. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du septentrion.

- Brousseau G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7, n° 2, p. 33-115.
- Bruner J.S. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*. Paris : PUF.
- Bruner J.S. (1990/1991). *Car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Eshel.
- Bruner J.S. (1996). *L'éducation, entrée dans la culture*. Paris : Retz.
- Bruner J.S. (2002/2005). *Pourquoi nous racontons nous des histoires ? Le récit au fondement de la culture et de l'identité individuelle*. Paris : Pocket.
- Burger O. (1995). *Descriptif des séquences menées dans le cadre de ROOSA*. Groupe Paris Biologie. Document interne.
- Buty C. & Plantin C. (2009). Variété des modes de validation des arguments en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin (dir.). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Lyon : INRP, p. 235-280.
- Calafate L.-C. (1986). Paradigmes cognitifs dans la salle de classe à propos de l'idée d'adaptation des vivants. In A. Giordan & J.-L. Martinand (éd.). *FEADS*, n°8, p. 83-94.
- Callot E. (1966). *Histoire de la philosophie biologique par les textes*. Paris : Douin.
- Canguilhem G. (1955). *La formation du concept de réflexe au XVII^e et au XVIII^e siècle*. Paris : Vrin.
- Canguilhem G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- Canguilhem G. (1968). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin.
- Canguilhem G. (1969). Physiologie animale. In R. Taton (éd.). *Histoire générale des sciences, tome 2, La science moderne*. Paris : PUF, p. 619-647.
- Canguilhem G. (1981). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie. Nouvelles études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin.
- Canguilhem G. (1990). Vie. In *Encyclopædia Universalis*, tome 23. Paris : Encyclopædia Universalis, p. 546-552.
- Carvalho G.S., Silva R. & Clément P. (2007). Historical Analysis of Portuguese Primary School Textbooks (1920-2005) on the topic of Digestion. *International Journal of Science Education*, vol. 29, n° 2, p. 173-193.
- Cassirer E. (1910/1977). *Substance et fonction, éléments pour une théorie du concept*. Paris : Éd. De Minuit.
- Cellérier G. (1973). L'explication en biologie. In *L'explication dans les sciences*. Paris : Flammarion, p. 72-102.
- Chabanne J.-C. & Bucheton D. & (2002). *Parler et écrire pour penser, apprendre et se construire*. Paris : PUF.
- Chalmers A.F. (1987). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : Éd. La Découverte.
- Chevallard Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Clarke A. & Fujimura J. (éd.) (1996). *La matérialité des sciences*. Paris : Les empêcheurs de penser en rond.
- Clément P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster*, n°13, p. 133-155.
- Clément P. (1998). La biologie et sa didactique, dix ans de recherche. *Aster*, n° 27.
- Closset J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de troisième cycle de l'université Denis-Diderot-Paris 7, Paris.

- Comte A. (1830). *Cours de philosophie positive*. Paris : Vrin.
- Coquidé M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, n°26.
- Coquidé M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, université Paris-Sud, Orsay.
- Crépin P. (2002). Des conceptions initiales aux systèmes explicatifs des élèves de l'école primaire sur l'origine des espèces. *Grand N*, n°70, p. 101-123.
- Crombie A.C. (1994). *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition: The history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts*. London: Duckworth.
- Dabène M. (1987). *L'adulte et l'écriture. Contribution à une didactique de l'écrit en langue maternelle*. Bruxelles : De Boeck.
- Darden L. (2002). Strategies for Discovering Mechanisms: Schema Instantiation, Modular Subassembly, Forward/Backward Chaining. *Philosophy of Science*, n° 69, p. S354-S365.
Disponible sur Internet : <http://www.philosophy.umd.edu/Faculty/LDarden/Research/pubs/PSA2000pap.html>.
- Darlu P. & Tassy P. (1993). *La reconstruction phylogénétique : concepts et méthodes*. Disponible sur Internet.
- Darwin C. (1865/1951). *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la lutte pour l'existence dans la nature*. Paris : Alfred Costes Éd.
- Davidson A.I. (2005). Épistémologie et archéologie : de Canguilhem à Foucault. In *L'émergence de la sexualité. Épistémologie historique et formation des concepts*. Paris : Albin Michel.
- de Ricqlès A. (1996). *Leçon inaugurale*. Collège de France. Disponible sur Internet : www.college-de-france.fr/media/pub_lec/UPL31988_LI_137_De_Ricql_s.pdf (consulté le 8 octobre 2008).
- de Ricqlès A. (2006). Préface. In P. Corsi, J. Gayon, G. Gohau & S. Tirard. *Lamarck, philosophe de la nature*. Paris : PUF, p. VII-XII.
- de Ricqlès A. (2008). L'évolution: nouveau récit de création ou synthèse de toute la biologie? In *Actes de savoir*, n° 4, Le récit. Paris : PUF.
- Delattre P. (1979). Le problème de la justification des modèles dans le cadre du formalisme des systèmes de transformation. In P. Delattre & M. Thellier. *Élaboration et justification des modèles*. Paris : Maloine.
- Delbos G. & Jorion P. (1990). *La transmission des savoirs*. Paris : Éd. De la Maison des sciences de l'Homme.
- Deleuze G. & Guattari F. (1991). *Qu'est-ce que la philosophie ?* Paris : Éd. de Minuit.
- Deleuze G. (1968). *Différences et répétition*. Paris : PUF.
- Deleuze G. (1969). *La logique du sens*. Paris : Éd. de Minuit.
- Demonem R. & Astolfi J.-P. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*. Paris : Nathan.
- Désautels J. & Larochelle M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *Aster*, n° 17, p. 13-40.
- Desrues S. & Lhoste Y. (2008). Problématisation et argumentation en SVT : un débat scientifique sur la fécondation en 4^e. In Y. Lhoste (dir.). *Rapport final du GFA Problématisation & apprentissage en SVT*. Caen : IUFM Basse-Normandie : Académie de Caen, p. 109-131. Disponible sur Internet : http://www.caen.iufm.fr/article.php3?id_article=92.
- Détienne M. (1992). *Les savoirs de l'écriture en Grèce ancienne*. Lille : Presses universitaires de Lille.

- Develay M. (1987). À propos de la transposition didactique en sciences biologiques. *Aster*, n°4.
- Dewey J. (1925). *Comment nous pensons ?* Paris : Flammarion.
- Dewey J. (1967/1993). *Logique, La théorie de l'enquête*. Paris : PUF.
- Dewey J. (2003). *Reconstruction en philosophie 1*. Pau : Publications de l'université de Pau
- Douady R. (1984). *Jeux de cadre et dialectique outil-objet dans l'enseignement des mathématiques. Une réalisation dans tout le cursus primaire*. Thèse de doctorat d'état non publiée, université Paris-Diderot-Paris 7. Paris.
- Douady R. & Artigue M. (1986). La didactique des mathématiques en France. Émergence d'un champ disciplinaire. *Revue française de pédagogie*, n° 76, p. 69-88.
- Driver R. Newton P. & Osborne J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, n° 84.
- Duboule D. (2007). Les gènes Hox : architectes de nos corps et de notre histoire. *Séance solennelle de l'Académie des sciences, 19 juin 2007*. Disponible sur Internet : www.academie-sciences.fr/conferences/seances_solennelles/pdf/discours_Duboule_19_06_07.pdf (consulté le 20 septembre 2008).
- Ducancel G. (1980). Rôle de la communication orale et écrite des élèves dans les activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire. *Repères*, n° 58, p. 2-5.
- Ducancel G. (1988). Écrire en sciences à l'école élémentaire. Référents théoriques pour une didactique. *Aster*, n° 16.
- Ducros B. (1989). *Le concept de circulation sanguine. Productions d'outils didactiques*. Thèse de doctorat non publiée, université Paris-Diderot-Paris 7, Paris.
- Ducrot O. (1978). *Deux mais. Syntaxe et sens*. Paris : Université Paris V, p. 37-46.
- Ducrot O. (1980). *Les échelles argumentatives*. Paris : Les éditions de Minuit.
- Ducrot O. (1984). *Le dire et le dit*. Paris : Éd. de Minuit.
- Duhem P. (1906). *La théorie physique*. Paris : Marcel Rivière & Cie Éd.
- Éhanno M. & Lhoste Y. (2008). Débat scientifique et problématisation en classe de seconde sur le thème de la nutrition des végétaux. Quelle problématisation ? Quels obstacles ? In Y. Lhoste (dir.). *Rapport final du GFA Problématisation & apprentissage en SVT*. Caen : IUFM Basse-Normandie : Académie de Caen, p. 303-335. Disponible sur Internet : http://www.caen.iufm.fr/article.php3?id_article=92.
- Fabre M. (1993). De la résolution de problème à la problématisation. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 4-5.
- Fabre M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.
- Fabre M. (1997). Pensée pédagogique et modèle philosophique : le cas de la situation-problème. *Revue française de pédagogie*, n° 120, p. 49-58. Disponible sur Internet : http://www.inrp.fr/edition-electronique/archives/revue-francaise-de-pedagogie/web/annee_fascicule.php?num_dat=1997 (consulté le 18 mai 2008).
- Fabre M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : PUF.
- Fabre M. (2001). Gaston Bachelard. La formation de l'Homme moderne. Paris : Hachette.
- Fabre M. (2002). Notes pour un modèle de l'activité de problématisation. *Séminaire Problématisation*. Document interne, CREN, université de Nantes.
- Fabre M. (2003). Bouvard et Pecuchet ou l'impuissance à problématiser. *Le Télémaque*, n° 24.
- Fabre M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 3.

- Fabre M. (2006). La philosophie des problèmes de Gilles Deleuze. *Séminaire Problématisation*. Document interne, CREN, université de Nantes.
- Fabre M. (2007). Quelques remarques sur les inducteurs de problématisation et autres questions. *Séminaire Problématisation*. Document interne, CREN, université de Nantes.
- Fabre M. (2009). *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris : Vrin.
- Fabre M. & Orange C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, n°24, p. 37-57. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8550> (consulté le 16 mai 2008).
- Fabre M. & Musquer A. (2007). Comment aider l'élève à problématiser ? Les inducteurs de problématisation. *Séminaire Problématisation*. Document interne, CREN, université de Nantes.
- Fagot-Largeault A. (2002). L'explication dans les sciences de la vie et de la santé. *Cours du collège de France*.
- Fagot-Largeault A. (2008). Cours du collège de France.
- Fayol M. (1985). *Le récit et sa construction*. Lausanne : Paris : Delachaux & Niestlé.
- Ferrari M. & Chi M.T.H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 10, p. 1231-1256.
- Feuillade D., Fillon P., Kappy J.-C. & Larcher C. (2000). Sciences expérimentales. In J. Colomb (éd.). *Rôle de l'écrit dans la gestion de l'hétérogénéité et la construction des savoirs*. Rapport de recherche, document interne: INRP.
- Fillon P. & Peterfalvi B. (2004). L'argumentation dans l'apprentissage scientifique au collège. *Aster*, n° 34, p 151-184.
- Fillon P. & Peterfalvi B. (2009). Argumentations, ambiguïtés et négociation des significations en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin (dir.). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Lyon : INRP, p. 331-360.
- Fillon P., Orange C., Peterfalvi B., Rebière M. & Schneeberger P. (2004). Argumentation et construction de connaissances en sciences. In J. Douaire (éd.). *Argumentation et disciplines scolaires*. Paris : INRP, p. 203-247.
- Fleck L. (2005/2008). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Les Belles Lettres.
- Forquin J.-C. (2004). École et culture. *EPS et Société Infos*, n° 26, p. 4-7.
- Fortin C. (1994). Le bon usage des conceptions en biologie de l'évolution. In A. Giordan, Y. Girault & P. Clément. *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang, p. 157-170.
- Fortin C. (2000). Les causes de l'évolution. In G. Rumelhard (éd.). *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre*. Paris : INRP, p. 81-101.
- Fortin C. (2009a). L'enseignement de l'évolution au lycée : entre description et explication. In M. Coquidé & S. Tirard (éd.). *L'évolution du vivant : Un enseignement à risque*. Paris : Adapt SNES - Vuibert, p. 15-29.
- Fortin C. (2009b). La métaphore de la parenté est-elle un obstacle à l'idée d'évolution. In M. Coquidé & S. Tirard (éd.). *L'évolution du vivant : Un enseignement à risques*. Paris : Adapt SNES - Vuibert, p. 129-134.
- Foucault M. (1966). *Les mots et les choses*. Paris : Gallimard.
- Foucault M. (1969). *L'archéologie du savoir*. Paris : Gallimard.
- Foucault M. (1994a). Sur l'archéologie des sciences. Réponses au cercle d'épistémologie. In *Dits et Écrits*, tome 1. Paris : Gallimard.

- Foucault M. (1994b). La situation de Cuvier dans l'histoire de la biologie. In *Dits et Écrits*, tome 1. Paris : Gallimard, p. 898-934.
- Foucault M. (2001). La vie : l'expérience et la science. In *Dits et Écrits*, tome 2. Paris : Gallimard.
- Fourez G. (1992). *La construction des sciences*. Paris : Bruxelles : De Boeck.
- France : Ministère de l'Éducation nationale (2007). *Mettre les élèves en activité au collège pour les former, les évaluer, les orienter*.
- François F. (1989). Langage et pensée : dialogue et mouvement discursif chez Vygotski et Bakhtine. *Enfance*, vol. 42, n° 1-2, p. 39-48.
- François F. (1993). *Pratiques de l'oral : dialogue, jeu et variations des figures du sens*. Paris : Nathan.
- François F. (1998). *Le discours et ses entours*. Paris : L'Harmattan.
- Gadamer H.-G. (1976). *Vérité et méthode*. Paris : Éd. Le Seuil.
- Gagliardi (1987). L'idée d'évolution. In A. Giordan (éd.). *Histoire de la biologie. Tome 2*, p. 217-279.
- Garcia R. (1973). L'explication en physique. In *L'explication dans les sciences*. Paris : Flammarion.
- Garcia-Denbanc C. (1988). Propositions pour une didactique du texte explicatif. *Aster*, n° 6.
- Garcia-Denbanc C. (1994). Apprendre à justifier par écrit une réponse : analyse linguistique et perspectives didactiques. *Pratiques*, n° 84, p. 5-40.
- Garcia-Denbanc C. (1995). Une argumentation orale dans un démarche scientifique au cycle 3. *Repères*, n° 12.
- Garcia-Denbanc C. (1996). Quand des élèves de CM1 argumentent. *Langue française*, n° 112, p. 50-66.
- Gayon J. (1999). La sélection. In D. Lecourt (éd.). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris : PUF, p. 854-861.
- Gayon J. (2000). La théorie de l'évolution : que signifie « darwinisme » aujourd'hui ? In Y. Michaud (éd.). *Qu'est-ce que la vie ?* Paris : Odile Jacob, p. 204-214.
- Gayon J. (2006). Hérités des caractères acquis. In P. Corsi, J. Gayon, G. Gohau & S. Tirard. *Lamarck, philosophe de la nature*. Paris : PUF, p. 105-163.
- Ghiselin Michael T. (1997). *Metaphysics and the Origin of Species*. New York: State of NY Press.
- Giordan A. & De Vecchi G. (1987). *Les origines du savoir*. Lausanne : Delachaux & Niestlé.
- Goix M. (1996). *Les concepts de croissance et de développement en biologie : obstacles et représentations chez les élèves de collège ; propositions de situations didactiques pouvant faciliter l'apprentissage*. Thèse de doctorat, université Denis-Diderot-Paris 7, Paris.
- Goix M. (1997). Grandir : oui, mais comment ? *Aster*, n°24, p. 141-170.
- Goody J. & Watt I.P. (1963). The consequences of literacy. *Comparative Studies in History and Society*, n°5, p. 304-345.
- Goody J. (1979). *La raison graphique*. Paris : Éd. de Minuit.
- Goody J. (2007). *Pouvoirs et savoirs de l'écrit*. Paris : Éd. La Dispute.
- Gould S.J. (1991). *La vie est belle. Les surprises de l'évolution*. Paris : Éd. du Seuil.
- Gould S.J. (1997). *L'éventail du vivant. Le mythe du progrès*. Paris : Éd. du Seuil.
- Grize J.-B. (1982). *De la logique à l'argumentation*. Genève : Librairie Droz.

- Grize J.-B. (1990/1997). *Logique et langage*, Paris, Ophrys.
- Grize J.-B. (1992). Sur la nature du discours scientifique d'information. *Aster*, n° 14, p. 41-52.
- Grize J.-B. (1996). *Logique naturelle et communication*. Paris : PUF.
- Grmek M. (1973/1991). *Claude Bernard et sa méthode expérimentale*. Paris : Payot.
- Hacking I. (1983/1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris : Bourgois.
- Hacking I. (2006). *Méthodes de raisonnement*. Paris : Collège de France, 14 p.
- Haila Y. (1996). Mesurer la nature : données quantitatives en biologie de terrain. In A. Clarke & J. Fujimura J. (éd.). *La matérialité des sciences*. Paris : Les empêcheurs de penser en rond.
- Halbwachs F. (1973). L'histoire de l'explication en physique. In *L'explication dans les sciences*. Paris : Flammarion, p. 72-102.
- Heguerta S. (2006). L'introuvable ancêtre commun. *Hors série Sciences et avenir*, juillet/août 2006, p. 48-52.
- Hempel C. (1972/2002). *Éléments d'épistémologie*. Paris : Armand Colin.
- Holton G. (1981). *L'imagination scientifique*. Paris : Gallimard.
- Hottois G. (2004). La science européenne : entre valeurs modernes et postmodernité. *Colloque Sciences et consciences européennes*, nov. 2004, Collège de France.
- Hume D. (1739). *Traité de la nature humaine*. Paris : Aubier.
- Huneman P. (2001). *Les sciences de la nature et les sciences de l'homme*. Paris : Ellipses.
- Jacob F. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.
- Jacob F. (1979). L'évolution sans projet. In *Le darwinisme aujourd'hui*. Paris : Éd le Seuil, p. 145-163.
- Jacob F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris: Librairie Fayard.
- Jacob F. (1987). *La statue intérieure*. Paris : Gallimard.
- Jacob F. (1995). L'émergence de la biologie moderne. *Séance publique annuelle des cinq académies*. Institut de France, mardi 24 octobre 1995. Disponible sur Internet : http://www.academie-francaise.fr/immortels/discours_5academies/jacob.html (consulté le 18 mai 2008).
- Jacob F. (1997). *La souris, la mouche et l'Homme*. Paris : Odile Jacob.
- Jacob F. (2005). *Le courage du chercheur*. Discours prononcé lors de la séance solennelle de rentrée des cinq Académies 2005. Disponible sur Internet : http://www.institut-de-france.fr/rubrique_-2005.html?arbo=146&page=679 (consulté le 26 juillet 2008).
- Jacobi D. (1993). Les terminologies et leur devenir dans les textes de vulgarisation scientifique. *Didaskalia*, n° 1, p. 69-83.
- Jaubert M. (2000). *Fonctions et fonctionnement du langage dans la construction des savoirs scientifiques : Hétéroglossie et contextes d'apprentissage scolaire*. Thèse de doctorat non publiée, université Victor-Ségalen-Bordeaux 2, Bordeaux.
- Jaubert M. (2007a). *Langage et construction de connaissances à l'école*. Pessac : Presses universitaires de Bordeaux.
- Jaubert M. (2007b). Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, université Victor-Ségalen-Bordeaux 2, Bordeaux.
- Jaubert M. & Rebière M. (2000). Observer l'activité langagière des élèves en sciences. *Aster*, n° 31, p. 173-195.

- Jaubert M. & Rebière M. (2001). Pratiques de reformulation et construction de savoir. *Aster*, n°33, p. 81-110.
- Jaubert M. & Rebière M. (2002). Parler et débattre pour apprendre : comment caractériser un « oral réflexif ». In J.-C. Chabanne & D. Bucheton (éd.). *Parler et écrire pour penser, apprendre et se construire : L'écrit et l'oral réflexif*. Paris : PUF.
- Jaubert M. & Rebière M. (2005). Émergence d'un concept en didactique du français : la secondarisation. *Actes du colloque épistémologie des didactiques des disciplines*, Bordeaux, mai 2005 (actes sur cédérom)
- Johsua S. (1998). Les obstacles épistémologiques et le cadre vygotkien. In M. Brossard & J. Fijalkow (éd.). *Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotkiennes*. Pessac: Presses universitaires de Bordeaux, p. 37-50.
- Jouary J.-P. (2002). *Enseigner la vérité*. Paris. L'Harmattan.
- Jouary J.-P. (2003). Enseigne-t-on les sciences à l'école ? In *Prendre la politique avec philosophie*. Paris : Éd. La dispute.
- Keller Fox E. (2004). *Expliquer la vie. Modèles, métaphores et machines en biologie du développement*. Paris : Gallimard.
- Kerbrat-Orecchioni C. (1998). *Les interactions verbales, tome I*. Paris : Armand Colin.
- Kimura M. (1991). *Théories neutralistes de l'évolution*. Paris : Flammarion.
- Koestler (1967/1990). *The act of creation*. London: Penguin.
- Kuhn T.S. (1962/1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Labov W. (1978). La transformation du vécu à travers la syntaxe narrative. In *Le parler ordinaire*. Paris : Éd. de Minuit.
- Lacombe G. (1987). Adaptation et théorie de l'évolution. *Aster*, n° 4, p. 139-153.
- Lacoste M. (1993). Langage et interaction: le cas de la consultation médicale. In J.Cosnier, Grosjean M. & Lacoste M. (éd.) (1993). *Soins et communications*. Lyon : Presses universitaires de Lyon, p. 33-61.
- Ladrière J. (1948). *La relativité de notre connaissance*. Louvain : Institut supérieur de philosophie.
- Lakatos I. (1994). *Histoire et méthodologie des sciences*. Paris : PUF.
- Langaney A. (1999). *La philosophie biologique*. Paris : Belin.
- Largeault J. (1984). *Philosophie de la nature*. Paris : Vrin.
- Latour B. (1989). *La science en action*. Paris : Éd. La Découverte.
- Latour B. (1994). *Le métier de chercheur regard d'un anthropologue*. Paris : INRA Éd.
- Latour B. (2001). *L'espoir de Pandore*. Paris : Éd. La Découverte.
- Latour B. (2005). Postface. Transmettre la siphilis. Partager l'objectivité. In L. Fleck. *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Les Belles Lettres.
- Latour B. & Woolgar S. (1988). *La vie de laboratoire, la production des faits scientifiques*. Paris : Éd. La Découverte.
- Laudan L. (1977). *La dynamique de la science*. Bruxelles : Mardaga.
- Lecointre G. (éd.). (2004). *Comprendre et enseigner la classification du vivant*. Paris : Éd. Belin.
- Lecointre G. (2006). *Ancêtre commun hypothétique ou bien réel*. Forum national de SVT. Disponible sur Internet : <http://pedagogie.ac->

toulouse.fr/svt/phpBB/viewtopic.php?p=47505&sid=d791acae1c8806fdcadd5ee4e2d4b
(consulté le 22 décembre 2006).

- Lecourt D. (1992). *L'Amérique entre la Bible et Darwin*. Paris : PUF.
- Lecourt D. (1999a). Positivisme. In D. Lecourt (éd.). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris : PUF, p. 745-750.
- Lecourt D. (1999b). Meyerson In D. Lecourt (éd.). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris : PUF, p. 643.
- Lecourt D. (2002). *L'épistémologie historique de Gaston Bachelard*. Paris : Vrin.
- Legay J.-M. (1997). *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode*. Paris : INRA Éd.
- Legrand L. (1960). *Pour une pédagogie de l'étonnement*. Neuchatel : Delachaux & Niestlé.
- Lemoigne J.-L. (1977). *La théorie du système général, théorie de la modélisation*. Paris : PUF.
- Leontiev A. (1976). *Le développement du psychisme*. Paris : Éditions sociales.
- Levy-Leblond J.-M. (1996). *La Pierre de touche. La science à l'épreuve*. Paris : Gallimard.
- Lhoste Y. (2004a). *Problématisation et pratiques langagières lors du débat scientifique en SVT sur le thème de la nutrition au collège*. Mémoire de DEA en sciences de l'éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Lhoste Y. (2004b). Analyses de productions argumentatives d'élèves de 3^e sur la nutrition. Colloque *Argumentation et disciplines scolaires*, Lyon, 7 - 9 octobre 2004.
- Lhoste Y. (2005). Argumentation sur les possibles et construction du problème dans le débat scientifique en classe de 3^{ème} sur le thème de la nutrition. *Aster*, n°40, p. 153-176.
- Lhoste Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3^e : Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster*, n°42, p. 79-108.
- Lhoste Y. (2007). Comment des étudiants préparant le CRPE construisent le concept d'ancêtre commun. *Actes des cinquièmes rencontres de l'ARDIST*, p. 209-216.
- Lhoste Y. & Peterfalvi B. (2007). Problèmes et obstacles en didactique des SVT. Questions théoriques. *Séminaire Problématisation*. Document interne, CREN, université de Nantes.
- Lhoste Y., Peterfalvi B. & Orange C. (2007). Problématisation et construction de savoirs en SVT : quelques questions méthodologiques et théoriques. *Actes du Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation*. AREF, Strasbourg, 28-31 août 2007. Disponible sur Internet : http://www.congresintaref.org/acte_cd.php?act=show&cont_id=300 (consulté le 18 mai 2008).
- Lhoste Y. & Peterfalvi B. (2008). Autour de la « nécessité de transformation » dans les débats sur la nutrition : Quels problèmes ? Quels obstacles ? *5^e colloque PROBLEMA*, Rhodes, 12 et 13 juin 2008.
- Licoppe C. (1996). *La formation de la pratique scientifique*. Paris : Éd. La Découverte.
- Limoges C. (1970). *La sélection naturelle*. Paris : PUF.
- Löwy I. (2005). Fleck de son temps. Fleck dans notre temps. In L. Fleck. *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Les Belles Lettres.
- Liotard J.-F. (1979). *La condition postmoderne*. Paris : Éd. de Minuit.
- Martinand J.-L. (1992). Présentation. In J.-L. Martinand (éd.). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, p. 7-22.

- Martinand J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux sur la modélisation dans la perspective du développement de curriculum ? Notes pour la recherche. In J.-L. Martinand (coord). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, p. 115-125.
- Martinand J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. In *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques* (Cachan 1994-95), p. 126-138.
- Martinand J.-L. (2000). Rapport au savoir et modélisation en sciences. In A. Chabchoub (dir.). *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences*, Actes du cinquième colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, tome 1, Tunis, p. 123-135.
- Masseron C., Auricchio A. & Perrin-Schrimmer C. (2004). La polyphonie des discours argumentatifs. Propositions didactiques. *Pratiques*, n° 123, p. 171-211.
- Matalon B. (1996). *La construction de la Science*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Mayr E. (1982/1989). *Histoire de la biologie*. Paris : Fayard.
- Mayr E. (1998). *Qu'est ce que la biologie ?* Paris : Fayard.
- Merleau-Ponty M. (1968). Résumés de cours. *Collège de France 1952-1960*. Paris : Gallimard.
- Meyer M. (1979). *Découverte et justification en sciences*. Paris : Klincksieck.
- Meyer M. (1982). *Logique, langage et argumentation*. Paris : Hachette.
- Meyer M. (1986). *De la problématologie*. Bruxelles : Mardaga.
- Meyer M. (1993). *Questions de rhétorique. Langage, raison et séduction*. Paris : Librairie Générale Française.
- Meyer M. (2000). *Questionnement et historicité*. Paris : PUF.
- Meyerson E. (1921). *De l'explication dans les sciences*. Paris : Payot.
- Monod J. (1970). *Le hasard et le nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Paris : Éd. Le Seuil.
- Morange M. (2005). *Les secrets du vivant. Contre la pensée unique en biologie*. Paris : Éd. la Découverte.
- Morin E. (1982). *Science avec conscience*. Paris : Fayard.
- Newton P., Driver R. & Osborne J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, vol. 21, n° 5.
- Nonnon E. (1995). Activités argumentatives et élaboration de connaissances nouvelles : le dialogue comme espace d'exploration. *Langue Française*, n°112.
- Nonnon E. (1999). L'enseignement de l'oral et les interactions verbales en classe : champ de référence et problématiques. *Revue française de pédagogie*, n° 129.
- Nonnon E. (2000). Ce que le récit oral peut nous dire sur le récit. *Repères*, n° 21, p. 23-52.
- Nonnon E. (2001-2002). Des situations-problèmes pour la verbalisation : difficultés à dire et travail de l'énoncé. *Repères*, n° 24-25, p. 23-57.
- Norris S.P., Guilbert S.M., Smith M.L., Hakimelahi S. & Phillips L.M. (2005). A theoretical Framework for Narrative Explanation in Science. *Science Education*, vol. 89, n° 4, p. 535-563.
- Orange C. (1993). Repères épistémologiques pour une didactique du problème. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 4-5, p. 33-49.
- Orange C. (1994a). *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie; l'exemple de la modélisation compartimentale*. Thèse de doctorat de didactique des disciplines, université de Denis-Diderot-Paris 7, Paris.

- Orange C. (1994b). Les modèles de la mise en relation au fonctionnement. In J.-L. Martinand (éd.) *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Orange C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- Orange C. (1998). Débats scientifiques dans la classe et espaces-problèmes. *Actes du deuxième colloque international Recherches et formation des enseignants*, Grenoble, février 98, IUFM de l'académie de Grenoble.
- Orange C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire évoluer les représentations ou construire des raisons? *Actes des premières journées scientifiques de l'ARDIST*, Cachan, novembre 99, p. 88-93. Disponible sur Internet : <http://www.stef.ens-cachan.fr/docs/listdocs.htm> (consulté le 2 avril 2007).
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Orange C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*, vol. 35, n°1, p. 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, p. 83-107. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8568> (consulté le 18 mai 2008).
- Orange C. (2003b). Apprentissages scientifiques, activités langagières et problématisation ». In M. Jaubert, M. Rebière & J.-P. Bernié. *Actes du colloque Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement*, Bordeaux, 3, 4 & 5 avril 2003 (actes sur cédérom).
- Orange C. (2003c). Investigations empiriques, construction de problèmes et savoirs scientifiques. In C. Larcher (éd.). *L'expérimental dans la classe*. Paris : INRP.
- Orange C. (2003d). Un exemple de problématisation en biologie : Claude Bernard et le milieu intérieur. *Actes des troisièmes journées scientifiques de l'ARDIST*, Toulouse, octobre 2003 (communication en plénière), p. 231-237. Disponible sur Internet : <http://www.aix-mrs.iufm.fr/ardist/index.php?quoi=2003> (consulté le 2 avril 2007).
- Orange C. (2004a). Argumentation et activités de recherche. In J. Douaire (éd.). *Argumentation et disciplines scolaires*. Paris : INRP.
- Orange C. (2004b). Analyse des savoirs en jeu lors d'interactions verbales : de la connaissance commune aux savoirs scientifiques dans un « débat scientifique » au cycle 3. *Actes du Colloque « Faut-il parler pour apprendre ? »*, Arras, 24, 25 & 26 mars 04, (actes sur cédérom).
- Orange C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, vol. 38, n°3, p. 69-93.
- Orange C. (2007). Problèmes, savoirs et problématisation : l'exemple des activités scientifiques. In M. Durand & M. Fabre (dir.). *Les situations de formation entre savoirs, problèmes et activités*. Paris : L'Harmattan.
- Orange C. (2007). Quel milieu pour l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la Terre. *Éducation & Didactique*, vol. 1, n° 2, p. 37-55.
- Orange C. (2009). Les fonctions épistémologiques de l'évolution dans les programmes français de sciences de la vie et de la Terre. In M. Coquidé & S. Tirard (éd.). *L'évolution du vivant : Un enseignement à risques*. Paris : Adapt SNES –Vuibert, p. 35-43.
- Orange C. & Orange-Ravachol D. (1993). Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 4-5, p. 51-69.
- Orange C. & Orange-Ravachol D. (1995), Géologie et Biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, n° 21, p. 27-49.
- Orange C., Beorchia F., Ducrocq P. & Orange D. (1999). « Réel de terrain », « réel de laboratoire » et

- construction de problèmes en sciences de la vie et de la terre. *Aster*, n° 28, p. 107-129.
- Orange C., Fourneau J.-C. & Bourbigot J.-P. (2001). Écrits de travail, débats scientifiques et problématisation à l'école élémentaire. *Aster* n° 33, p. 111-133.
- Orange C. & Orange-Ravachol D. (2004). Les conceptions des élèves et leur mode de raisonnement en sciences de la Terre. *Géochronique*, n° 90, p. 29-32.
- Orange C. & Orange-Ravachol D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires. Le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. Actes des cinquièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST. Montpellier : LIRDEF, p. 305-312.
- Orange C., Lhoste Y. & Orange-Ravachol D. (2009). 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*. Lyon : INRP, p. 75-116.
- Orange-Ravachol D. (2003). *Utilisation du temps et explications en sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude dans quelques problèmes géologiques*. Thèse de doctorat non publiée, université de Nantes, Nantes.
- Orange-Ravachol D. (2004). Les interactions langagières en sciences de la vie et de la Terre au lycée : une aide à la problématisation. *Actes du colloques « Faut-il parler pour apprendre ? »* Arras les 24, 25, 26 mars 2004 (actes sur Cédérom).
- Orange-Ravachol D. (2005). Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la Terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *Aster*, n° 40, p. 177-204.
- Orange-Ravachol D. (2007). Des mises en histoire aux savoirs scientifiques : le cas de lycéens confrontés à quelques problèmes de tectonique des plaques. *Aster*, n° 44.
- Orange-Ravachol D. & Guerlais M. (2005). Construction de savoirs et rôle des enseignants dans une situation de « débat scientifique » à l'école élémentaire : comparaison de deux cas. *Actes du 5^{ème} Colloque International Recherche(s) et Formation*. Nantes, 14-15-16 février 2005. Cédérom.
- Orange-Ravachol D. & Ribaud A. (2006). Les classifications du vivant à l'école : former l'esprit scientifique ou inculquer la « bonne » solution ? À l'école des sciences, tome 1. *Spécial Grand N*, p. 181-196.
- Orange-Ravachol D. & Beorchia F. (2007). Principes structurants et savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Actes du Congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation*. AREF, Strasbourg, 28-31 août 2007. Disponible sur Internet : http://www.congresintaref.org/acte_cd.php?act=show&cont_id=385 (consulté le 18 mai 2008).
- Orange-Ravachol D. & Triquet É. (2007). Sciences et récits, des rapports problématiques. *Aster*, n°44, p. 1-13.
- Orlandi E. (1991). Conception des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, n° 13, p. 111-132.
- Parain-Vial J. (1985). *Philosophie des sciences de la nature*. Paris : Klincksieck.
- Perelman C. (2002). *L'empire rhétorique. Rhétorique et argumentation*. Paris : Vrin.
- Pestre D. (1998). Sciences de philosophes, science des historiens. *Le débat*, n° 102, p. 99-106.
- Pestre D. (2006). *Introduction aux Science studies*. Paris : Éd. La Découverte.
- Peterfalvi B. (éd.) (1992). *Recherche ROOSA (Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de la matière)*. Documents n° 1 et n° 2. Paris : INRP (documents internes).
- Peterfalvi B. (2001). *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations. L'exemple des transformations de la matière*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, université de Rouen, Rouen.

- Peterfalvi B. (2005), *Travail sur les obstacles et problématisation, quels apports réciproques*, 73^e congrès de l'ACFAS, Chicoutimi, Québec, mai 2005.
- Peterfalvi B. (2006). Problématisation et travail sur les obstacles en sciences. In M. Fabre & E. Vellas (éd.). *Situations de formation et problématisation*. Bruxelles : De Boeck, p. 91-106.
- Peterfalvi B. (2009). Comprendre la théorie de l'évolution, une course d'obstacles ? In M. Coquidé & S. Tirard (éd.). *L'évolution du vivant : Un enseignement à risques*. Paris : Adapt SNES –Vuibert, p. 109-121.
- Peterfalvi B. & Jacobi D. (2003). Les interactions langagières entre processus et matériaux pour la recherche. *Aster*, n° 37, p. 3-15. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8568> (consulté le 5 octobre 2008).
- Petitjean A. (2004). Présentation. *Pratiques*, n° 123-124, p. 3-6.
- Piaget J. (1973). Le problème de l'explication. In *L'explication dans les sciences*. Paris : Flammarion, p. 7-18
- Piaget J. & Garcia R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- Pichot A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris : Gallimard.
- Pichot A. (1999). *Histoire de la notion de gène*. Paris : Flammarion.
- Plantin C. (1996). Le trilogue argumentatif. Présentation de modèle, analyse de cas. *Langue française*, n°112.
- Plantin C. (2005). *L'argumentation*. Paris : PUF.
- Poincaré (1902). *La science et l'hypothèse*. Paris : Flammarion.
- Popper K.R. (1959/1973/1989). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.
- Popper K.R. (1979/1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier.
- Popper K.R. (1963/1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- Popper K.R. (1991/1998). *La connaissance objective*. Paris : Aubier.
- Porlan Ariza R., Garcia Garcia E., Rivero Garcia A. & Martin Del Pozo R. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage. *Aster*, n°26, p. 207-235.
- Pratiques*, n° 123-124 (2004). Numéro coordonné par A. Petitjean.
- Prochiantz A. (1990). *Claude Bernard et la révolution physiologique*. Paris : PUF.
- 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 4^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*. Lyon : ARDIST : INRP, p. 293-300. Disponible sur Internet : <http://www.aix-mrs.iufm.fr/ardist/index.php?quoi=2005> (consulté le 5 octobre 2008).
- Raup D. (1993). *De l'extinction des espèces*. Paris : Gallimard.
- Raynaud D. (2003). *Sociologie de la controverse scientifique*. Paris : PUF.
- Rebière M. (2000). *Langage, posture et cognition*. Thèse de Doctorat, université Victor-Ségalen-Bordeaux 2, Bordeaux.
- Rebière M., Schneeberger P. & Jaubert M. (2009). Changer de position énonciative pour construire des objets de savoirs en sciences : le rôle de l'argumentation. In C. Buty & C. Plantin (dir.). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Lyon : INRP, p. 281-329.
- Reboul O. (1980). *Qu'est-ce qu'apprendre ?* Paris : PUF.
- Reboul O. (1992). *Les valeurs de l'éducation*. Paris : PUF.

- Recherche pédagogique*, n° 74. (1975).
- Recherche pédagogique*, n° 117. (1983). Éveil scientifique et modes de communication.
- Repères*, n° 12. (1995). Apprentissages langagiers, apprentissages scientifiques, coordonné par Gilbert Ducancel & Jean-Pierre Astolfi.
- Repères*, n° 58. (1980). Français et éveil scientifique.
- Rey B. (1998). Savoir scolaire et relation à autrui. *Les cahiers pédagogiques*, n° 367-368.
- Rey B. (2002). Diffusion des savoirs et textualité. *Recherche et formation*, n° 40, p. 43/47.
- Ricoeur P. (1983). *Temps et récit : 1. L'intrigue et le récit historique*. Paris : Éd. du Seuil.
- Ricoeur P. (1984). *Temps et récit : 2. La configuration dans le récit de fiction*. Paris : Éd. du Seuil.
- Ricoeur P. (1985). *Temps et récits : 3*.
- Ricoeur P. (1986). Le modèle du texte : l'action sensée considérée comme un texte. In *Du texte à l'action. Essai d'herméneutique II*. Paris : Éd. du Seuil, p. 205-236.
- Robillard J. (2004). Ontologies : antinomies, contradictions et autres difficultés épistémologiques du concept. *Revue STICEF*, vol. 11.
- Rochex J.-Y. (1995). Un inédit de Vygotski, présentation de L.S. Vygostkyi, Apprentissage et développement à l'âge préscolaire, 1935. *Société française*, n° 2 (52), p. 31-34.
- Roqueplo P. (1974). *La partage du savoir*. Paris : Éd. Le Seuil.
- Ruffié J. (1976). *De la biologie à la culture*. Paris : Flammarion.
- Rumelhard G. (1992). L'enseignement de la biologie comme culture. *Aster*, n° 15, p. 145-167.
- Rumelhard G. (1993). Enseignement et apprentissage de la causalité en biologie. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, n° 4-5.
- Rumelhard G. (1994). Histoire didactique du concept de régulation en biologie. In G. Rumelhard (éd.). *La régulation en biologie*. Paris : INRP, p. 39-66.
- Rumelhard G. (1995). Permanence, métamorphose, transformation. *Biologie-Géologie*, n°2, p. 333-345.
- Rumelhard G. (2007). Milieu physique universel, indifférent, milieu référé aux organismes vivants, milieu référé à l'homme ; environnement. *Biologie-Géologie*, n°4, p. 518-530.
- Rumelhard G. (2009). Évolution et créationnisme. In M. Coquidé & S. Tirard (éd.). *L'évolution du vivant : Un enseignement à risques*. Paris : Adapt SNES –Vuibert, p. 177-186.
- Russo F. (1984). *Nature et méthode de l'histoire des sciences*. Paris : Librairie scientifique et technique A. Blanchard.
- Salomon Bayet C. (1978/2008). *L'institution de la science et l'expérience du vivant*. Paris : Flammarion.
- Sauvageot-Skibine M. (1991). La digestion au collège : transformation physique ou chimique. *Aster*, n°13, p. 93-110. Disponible sur Internet : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9055> (consulté le 18 mai 2008).
- Schneeberger P. (1992). *Problèmes et difficultés dans l'enseignement d'un concept transversal : le concept de la régulation*. Thèse de doctorat en didactique des sciences, université Paris 7, Paris.
- Schneeberger P. (1994). Place des modèles dans l'enseignement du concept de régulation. In G. Rumelhard (éd.). *La régulation en biologie, Approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris : INRP. p. 131-164.

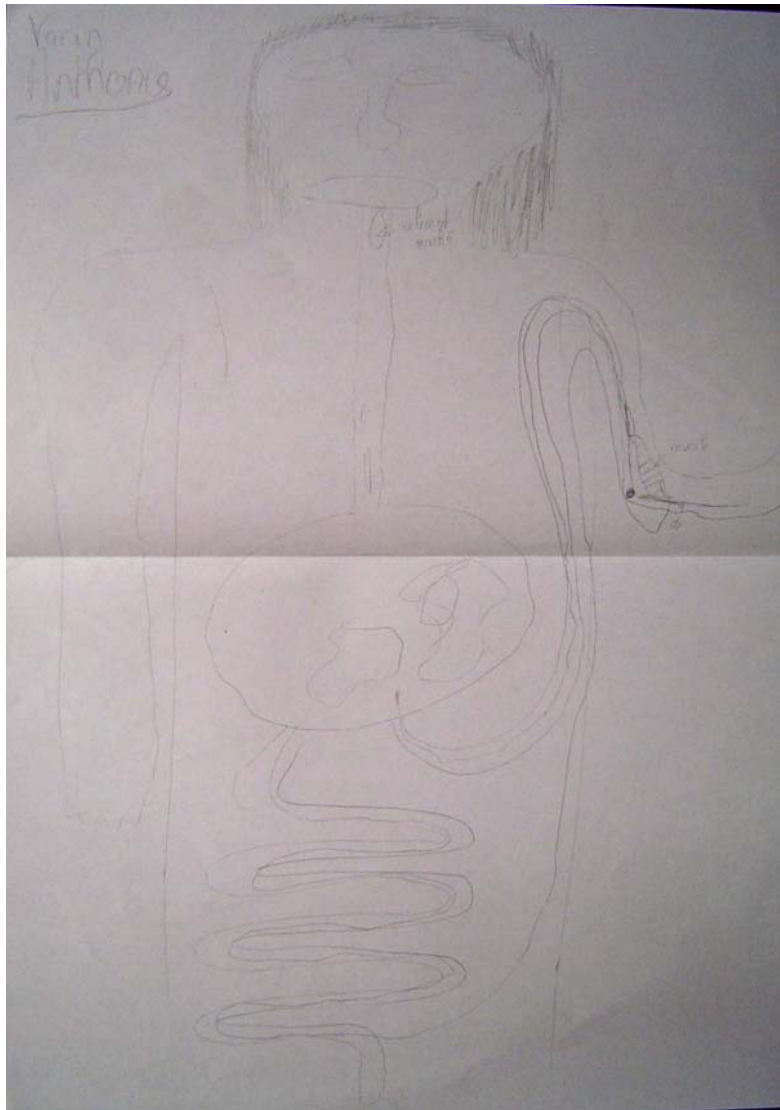
- Schneeberger P. (2002). Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, volume I : « *Savoirs et pratiques scientifiques dans l'enseignement des SVT : travail des obstacles et interactions langagières* », volume II : « *Fonctions des langages dans les apprentissages scientifiques. Bilan et perspective de recherche et de formation* ». Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sciences de l'Éducation non publié, université de Nantes, Nantes.
- Schneeberger P. (2008). Travail langagier et construction de savoirs en sciences. *Les Dossiers des Sciences de l'Éducation*, n° 20, p. 91-106.
- Schneeberger P. & Ponce C. (2003). Tirer parti des échanges langagiers entre pairs pour construire des apprentissages en sciences. *Aster*, n° 37.
- Schneeberger P & Dhouibi M. (2006). La régulation de la glycémie : une étude de cas en première S. *Aster*, n° 42, p. 135-158.
- Schneeberger P., Robisson P., Liger-Martin J. & Darley B. (2007). Conduire un débat pour faire construire des connaissances en sciences. *Aster*, n° 45, p. 39-64.
- Sensevy G. & Santini J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, n° 43, p. 163-188.
- Shapere D. (1982). The concept of observation in science and philosophy. *Philosophy of Science*, n° 49, p. 231-267.
- Shapin S. (1988). Robert Boyle and mathematics: reality, representation and experimental practice. *Science in context*, n° 2, p. 23-58.
- Simon S., Erduran S. & Osborne J. (2006). Learning to teach argumentation. Research and development in the Science classroom. *International Journal of Science Education*, vol. 28, n° 2-3, p. 235-259.
- Sutton C. (1995). Quelques questions sur l'écriture et la science : une vue personnelle d'Outre-Manche. *Repères*, n° 12.
- Tassy P. (1991). *L'arbre à remonter le temps*. Paris : Christian Bourgeois Éd.
- Tassy P. (1991). *Le message des fossiles*. Paris : Hachette : La Villette.
- Tassy P. (1997). L'avènement de la cladistique. *Dossier Pour la Science, L'évolution*, p. 74-76.
- Tassy P. (2004). La systématique contemporaine ; les modalités de sa renaissance. *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie*, vol. 11, n° 2, p. 193-217.
- Tattersall I. (2003). *L'émergence de l'homme*. Paris : Gallimard.
- Tiberghien A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instructions*, n° 4, p. 71-87.
- Todorov T. (1981). *Mikhail Bakhtine. Le principe dialogique*. Paris : Éd. Le Seuil.
- Toulmin S. (1961/1973). *L'explication scientifique*. Paris : Armand Colin.
- Toulmin S. (1993). *Les usages de l'argumentation*. Paris : PUF.
- Turquier Y. (1989). *Les fonctions de nutrition*. Paris : Doin.
- Turquier Y. (1994). *L'organisme en équilibre avec son milieu*. Paris : Doin.
- Vergnaud G. (1989). La formation des concepts scientifiques. Relire Vygotski et débattre avec lui aujourd'hui. *Enfance*, tome 42, n° 1-2, p. 111-118.
- Vergnaud G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en didactique des mathématiques*, vol. 10, n° 2-3, p. 33-170.
- Vergnioux A. (2003). *L'explication dans les sciences*. Paris : Bruxelles : De Boeck.
- Vérin A. (1988). Apprendre à écrire pour apprendre les sciences. *Aster*, n°6, p. 15-46

- Vérin A. (2003). Entrer dans la culture scientifique et le langage scientifique. *X.Y. ZEP. Bulletin du centre Alain Savary*, n° 16/17, p. 8-10.
- Verret M. (1975). *Le temps des études*. Paris : Honoré Champion.
- Veslin J. (1988). Quels textes scientifiques espère-t-on voir les élèves écrire ? *Aster*, n° 6, p. 91-127.
- Veyne P. (1971). *Comment on écrit l'histoire*. Paris : Éd du Seuil.
- Viennot L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, n°1, p. 13-27.
- Viennot L. (2003). Raisonnement commun en physique : relations fonctionnelles, chronologie et causalité. In L. Viennot & C. Debru. *Enquête sur le concept de causalité*. Paris : PUF.
- Viennot L. (2006). La physique dans la culture scientifique : entre raisonnement, récit et rituels. *Aster*, n° 44.
- Volochinov (1977). *Marxisme et philosophie du langage*. Paris : Éd. de Minuit.
- Vygotski L.S. (1931/1997). *The History of the Development of Higher Mental Functions*. In R.W. Rieber (éd.). *The collected works of L.S. Vygotski*, vol. 4. New York: Plenum Press.
- Vygotski L.S. (1933/1985). Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire. In B. Schneuwly et J.-P. Bronckart (éd.). *Vygotski aujourd'hui*. p. 95-117.
- Vygotski L.S. (1935/1995). Apprentissage et développement à l'âge préscolaire. *Société française*, vol. 2, n° 52, p. 35-45.
- Vygotski L.S. (1937/1998). *Pensée et langage*. Paris : Éd. La dispute.
- Walliser B. (1977). *Systèmes et modèles*. Paris : Éd. du Seuil.
- Watson J.D. (1969). *La double hélice*. Paris : Robert Laffont.
- Weisser M. (2003). La gestion didactique des situations d'argumentation orale. *Les Sciences de l'Education – Pour l'Ère nouvelle*, vol. 36, n° 3.
- Weisser M., Masplet E. & Rémingy M.-J. (2003). Construction de la compréhension par l'argumentation orale en sciences. Expérience menée au cycle 3. *Aster*, n°37.
- Wittgenstein L. (1958/1987). *De la certitude*. Paris : Gallimard
- Wolff E. (1963). *Les chemins de la vie*. Paris : Hermann.
- Wolff E. (1966). Le climat de la découverte en biologie. In *Bulletin de la société française de philosophie*. Paris : Armand Colin.
- Yore L.D., Florence M.K., Pearson T.W., Weaver A.J. (2006). Written Discourse in Scientific Communities: A Conversation with Two Scientists About their Views of Science, Use of Language, Role of Writing in Doing Science, and Compatibility Between their Epistemic Views and Language. *International Journal of Science Education*, vol. 28, n°2-3, p. 109-141
- Zonca Y. (2001). *Problématisation du lien nutrition animale – croissance avec des élèves de CM2. Analyse et interprétation des explications fournies par des écoliers sur le rôle des aliments dans la croissance*. Mémoire de DEA non publié, université de Rouen, Rouen.

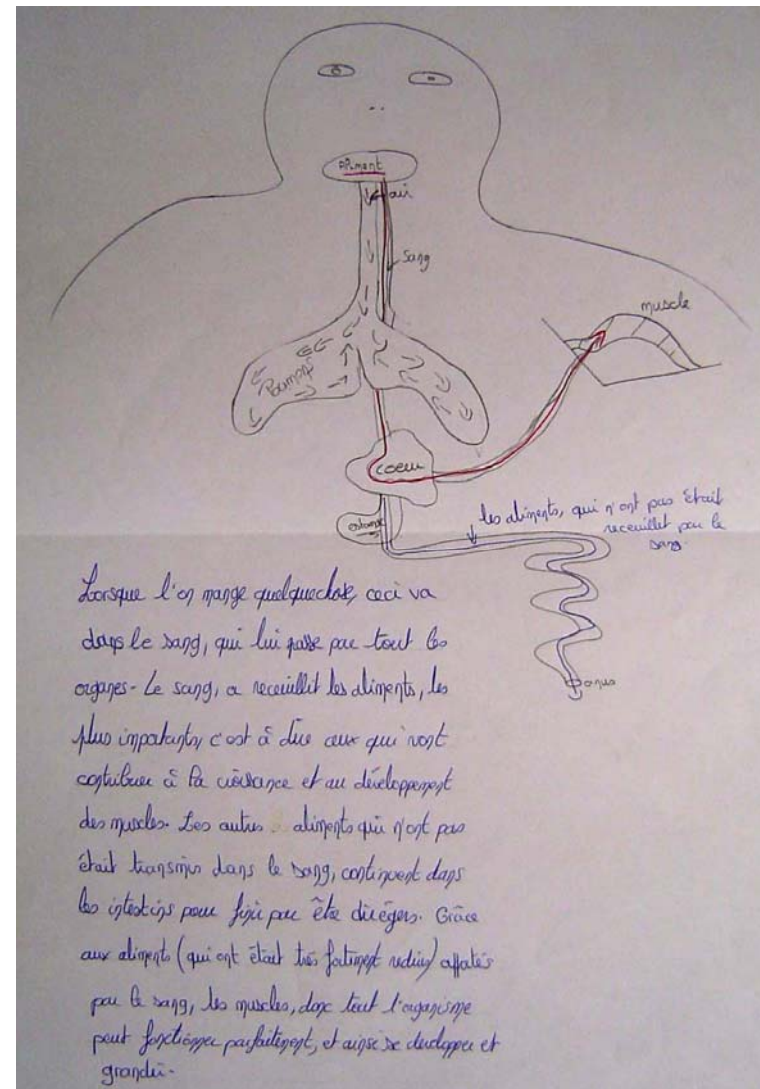
Table des annexes

Annexe 1.	Les évaluations diagnostiques des élèves de 3 ^e	page 444
Annexe 2.	Les affiches de groupe produites par les élèves de 3 ^e	page 457
Annexe 3.	Le script du débat de la classe de 3 ^e	page 460
Annexe 4.	Le programme de la classe de première ES relatif à l'évolution des espèces	page 476
Annexe 5.	Les évaluations diagnostiques des élèves de 1 ^{re} ES	page 478
Annexe 6.	Les affiches de groupe produites par les élèves de 1 ^{er} ES	page 479
Annexe 7.	Le script du débat de la classe de 1 ^{re} ES	page 481
Annexe 8.	Le corpus de documents pour comparer les caractères de l'australopithèque, du chimpanzé et de l'homme moderne	page 486
Annexe 9.	Les productions individuelle des étudiants de PE1 relatifs à la première phase de travail	page 488
Annexe 10.	Les productions individuelles des étudiants de PE1 relatifs à la troisième phase de travail	page 498
Annexe 11.	Les productions collectives des étudiants de PE1 relatifs à la quatrième phase de travail	page 507
Annexe 12.	Le script du débat de le groupe d'étudiant PE1	page 510

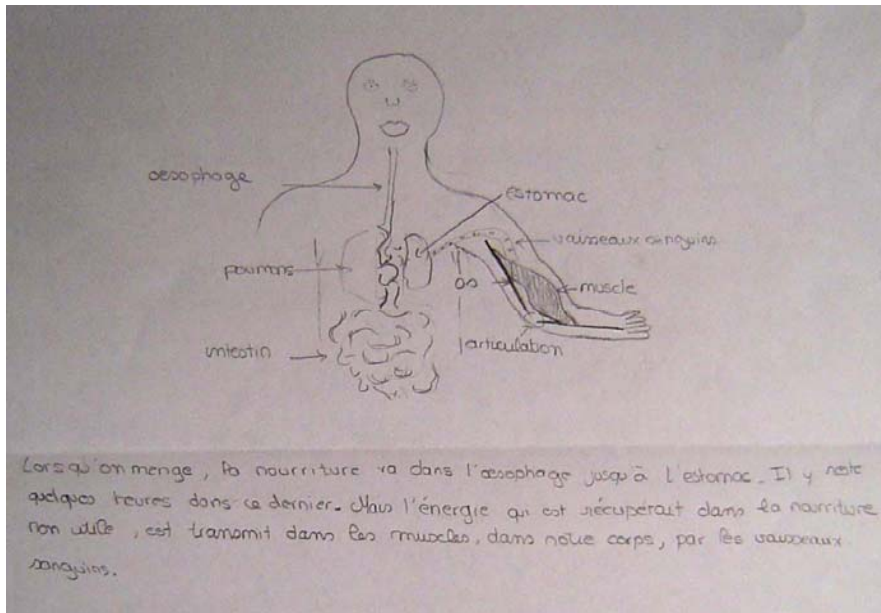
Annexe 1 - Groupe 1 - Anthony



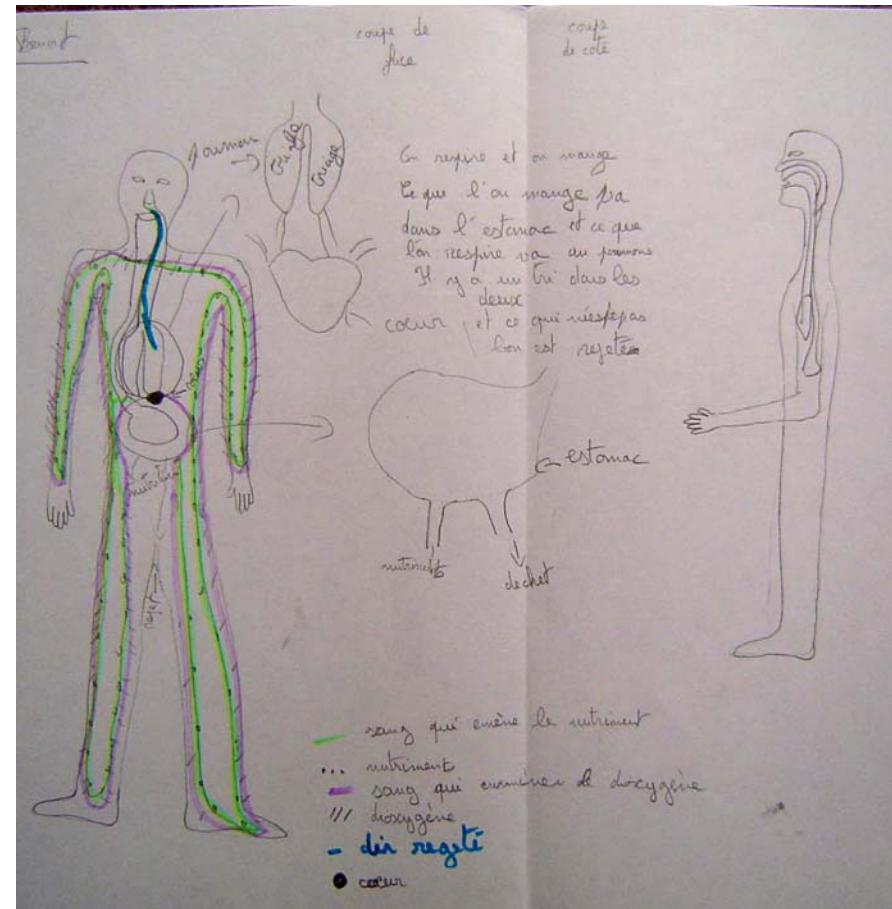
Annexe 1 - Groupe 1 - Angélique P



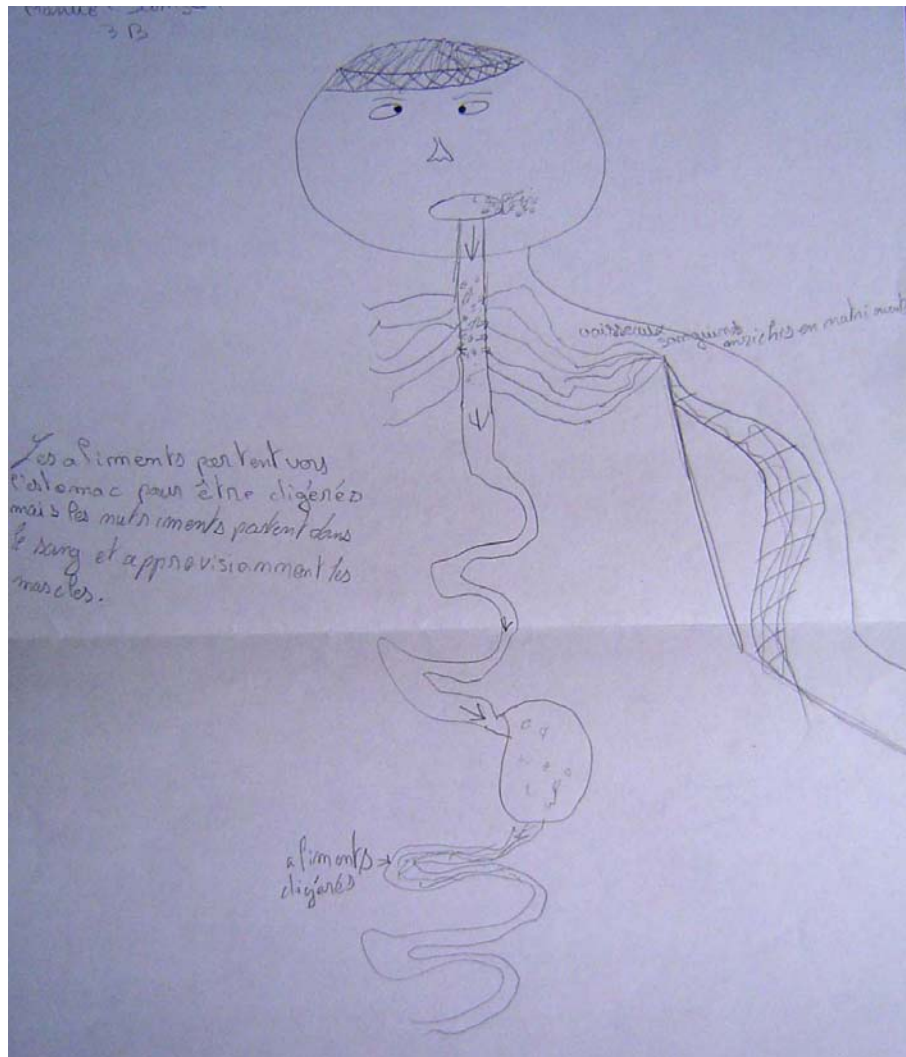
Annexe 1 - Groupe 1 - Angéline



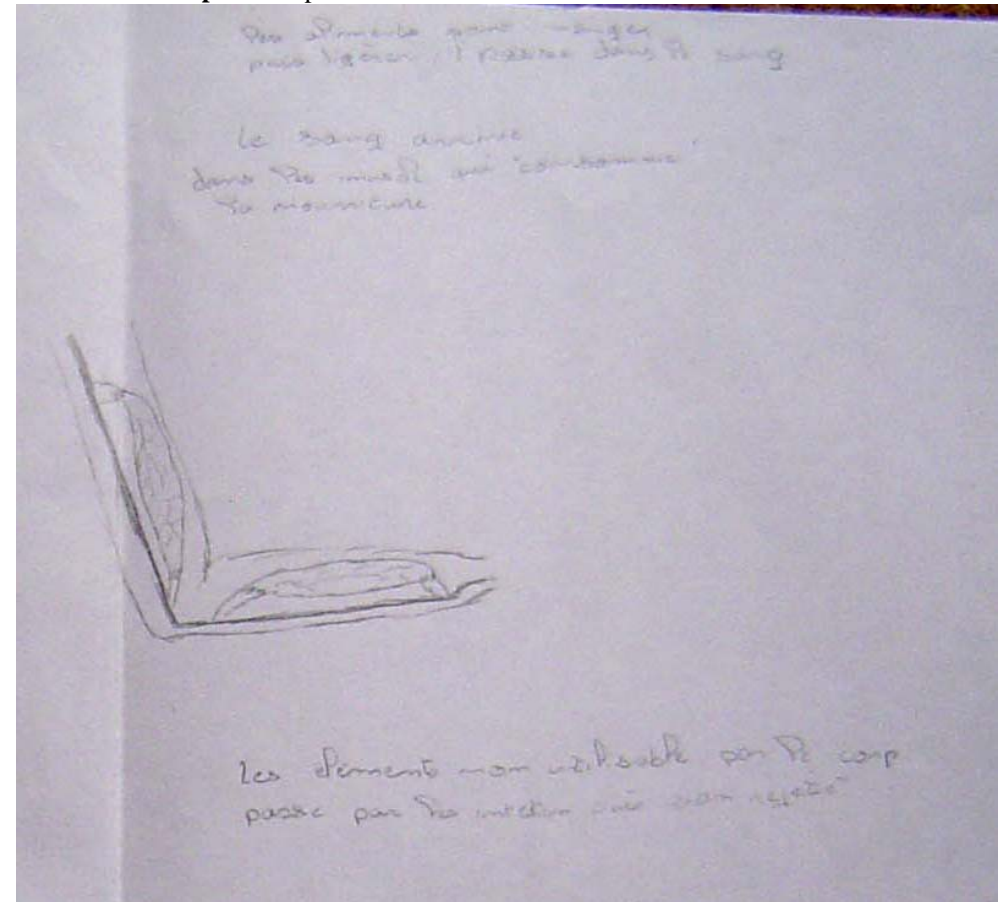
Annexe 1 - Groupe 1 : Benoît



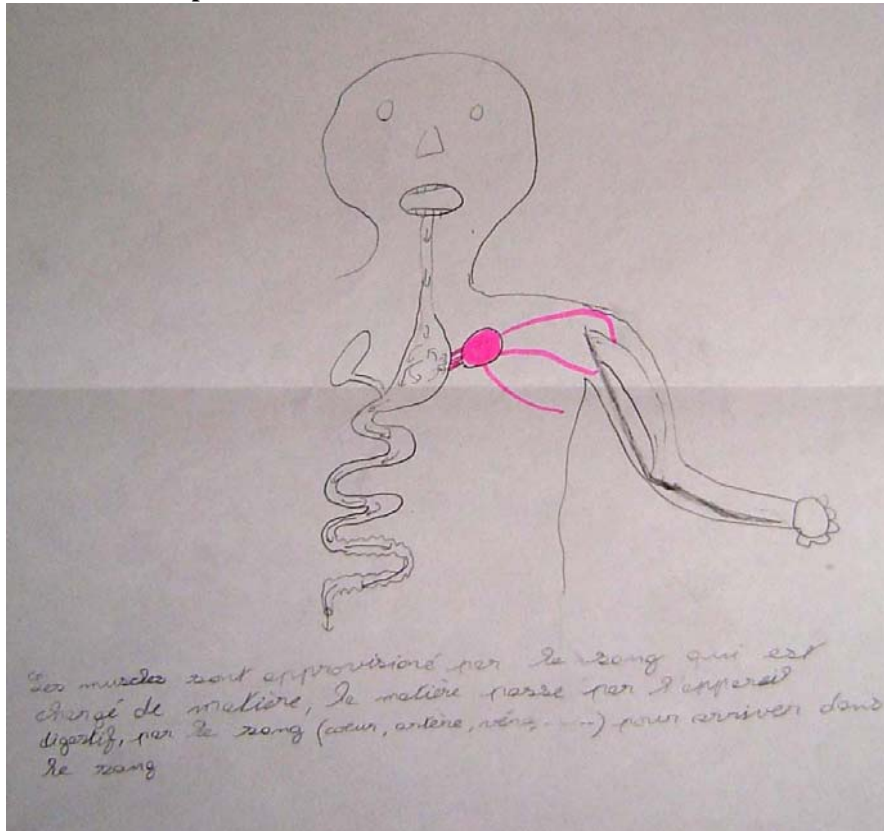
Annexe 1 - Groupe 2 - Manuel



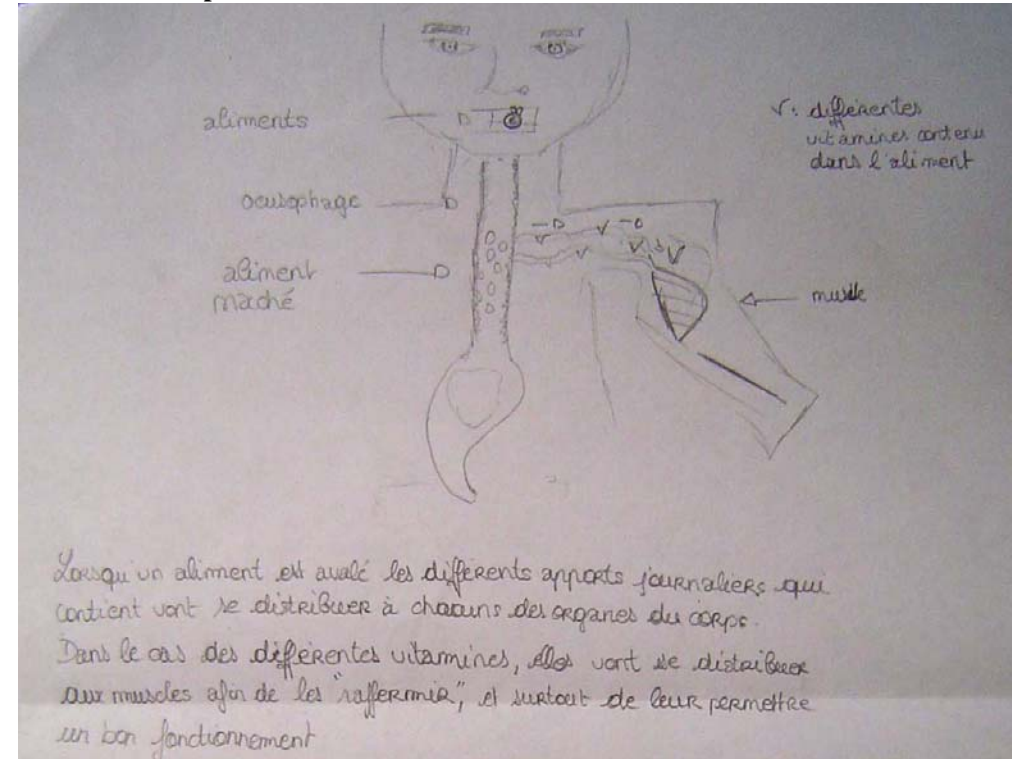
Annexe 1 - Groupe 2 - Stéphane



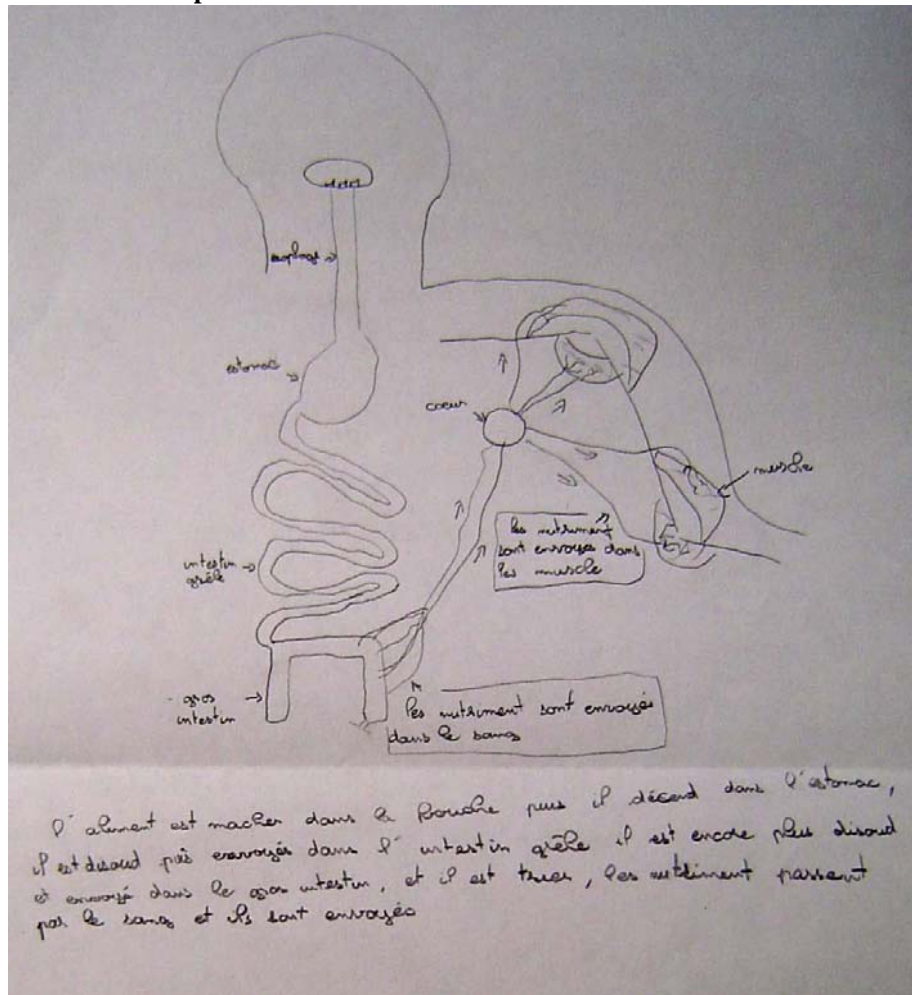
Annexe 1 - Groupe 2 - Clément



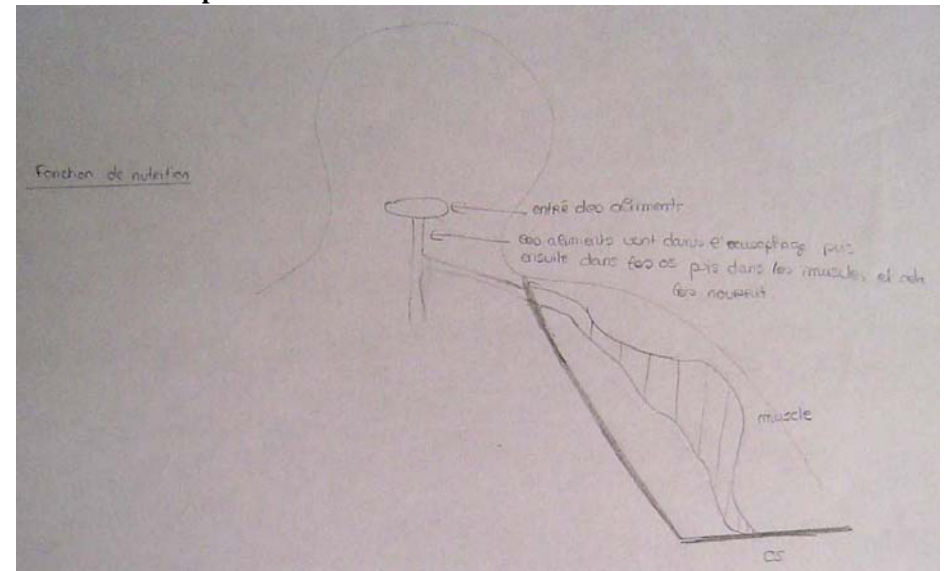
Annexe 1 - Groupe 2 - Chloé



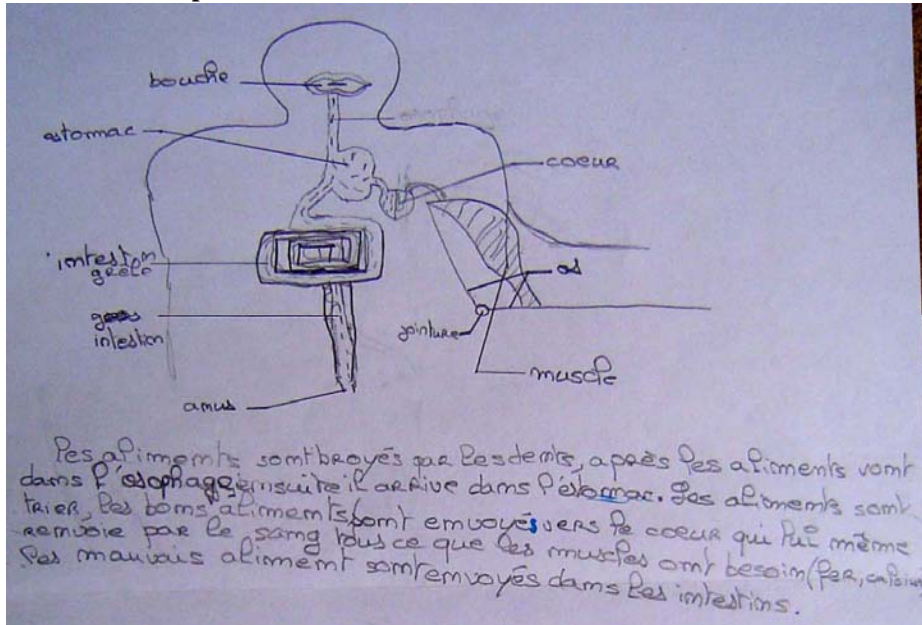
Annexe 1 - Groupe 2 - Kévin



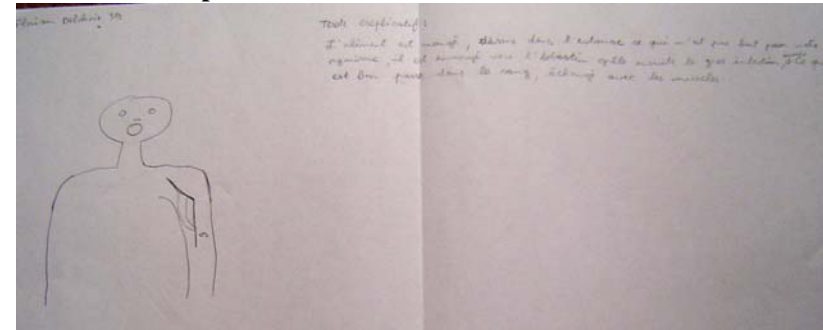
Annexe 1 - Groupe 3 - Lolita



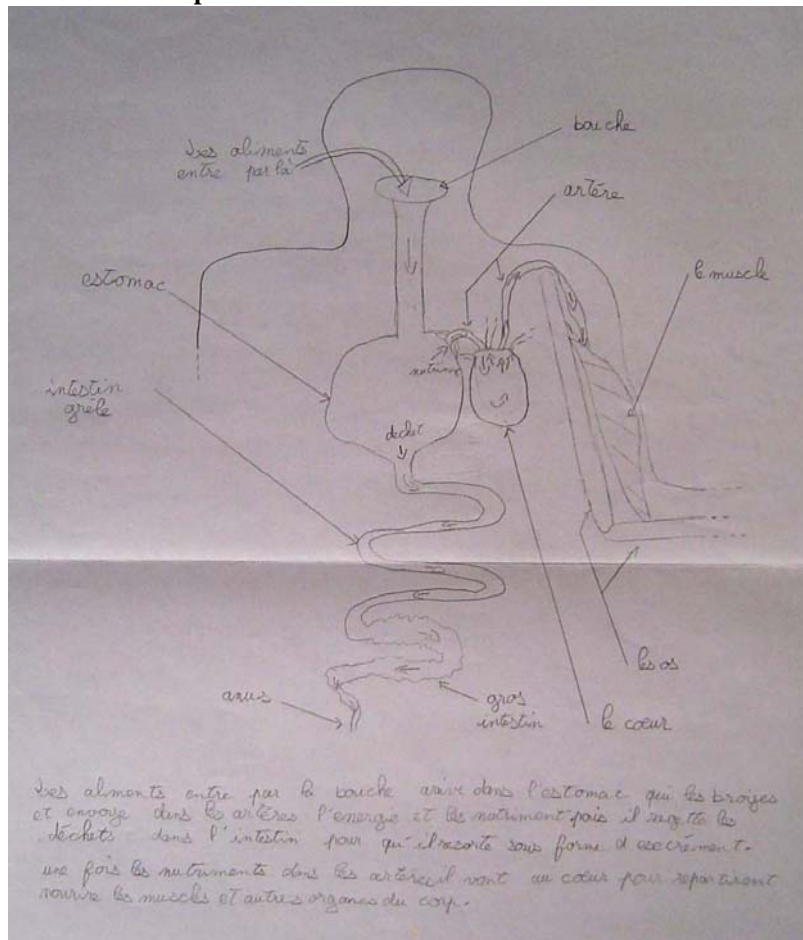
Annexe 1 - Groupe 3 - Maxime Bil.



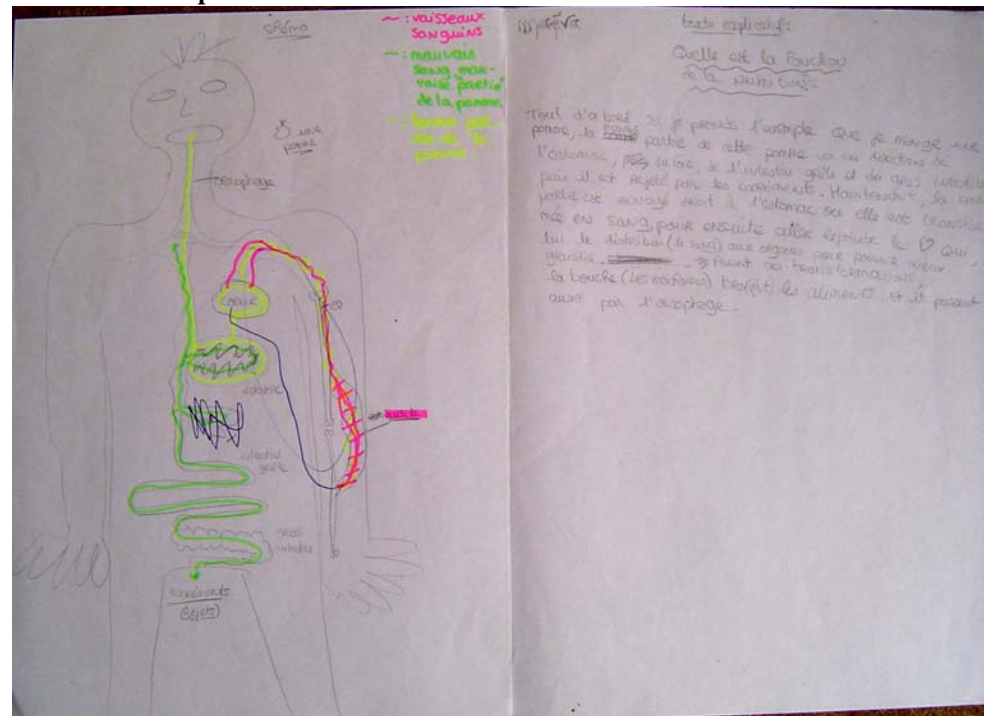
Annexe 1 - Groupe 3 : Florian



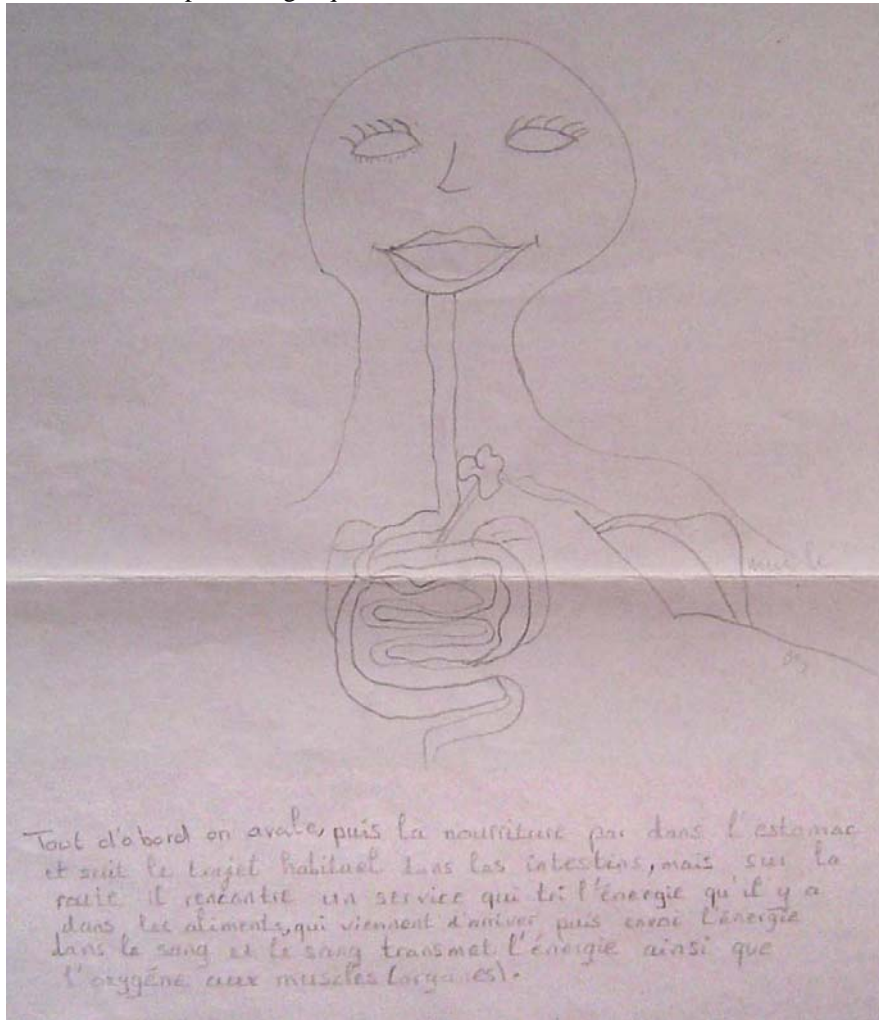
Annexe 1 - Groupe 4 : Camille



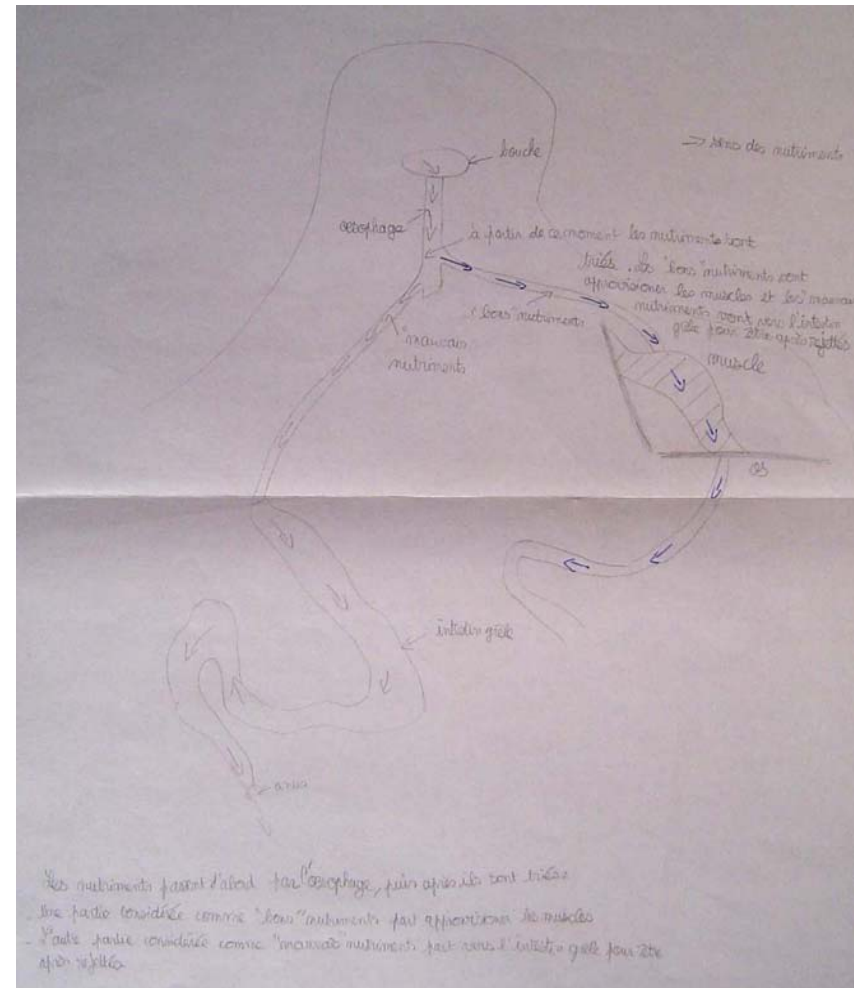
Annexe 1 - Groupe 4 : Maëva



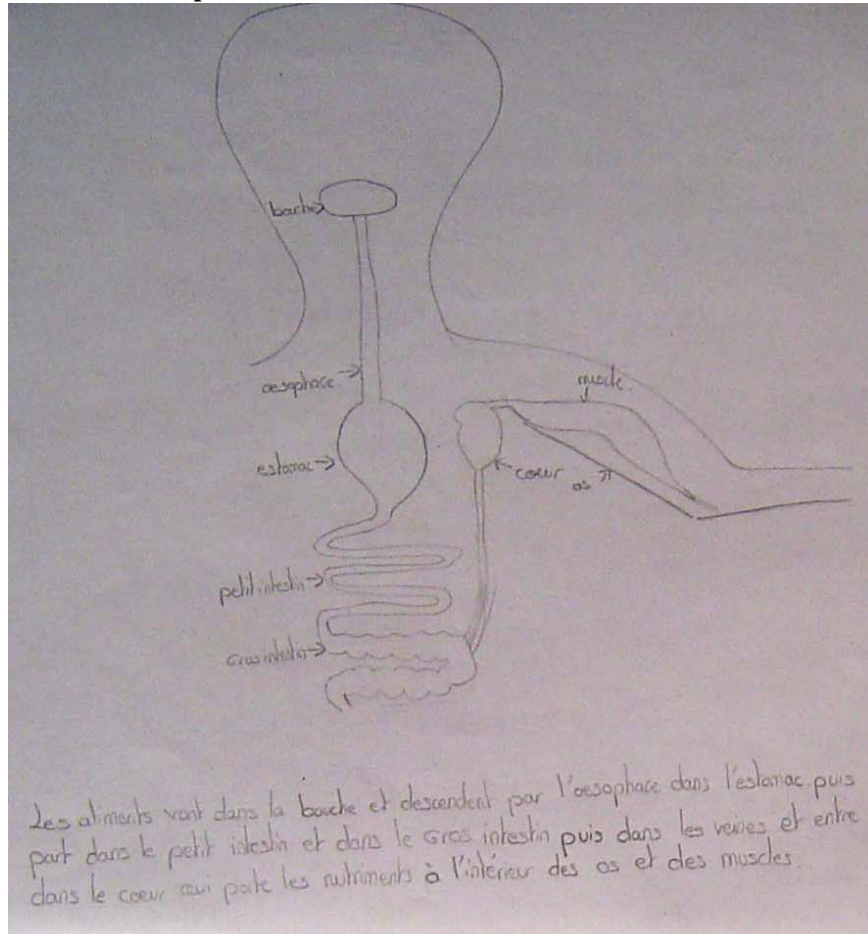
Annexe 1 - Groupe 4 : Angélique H



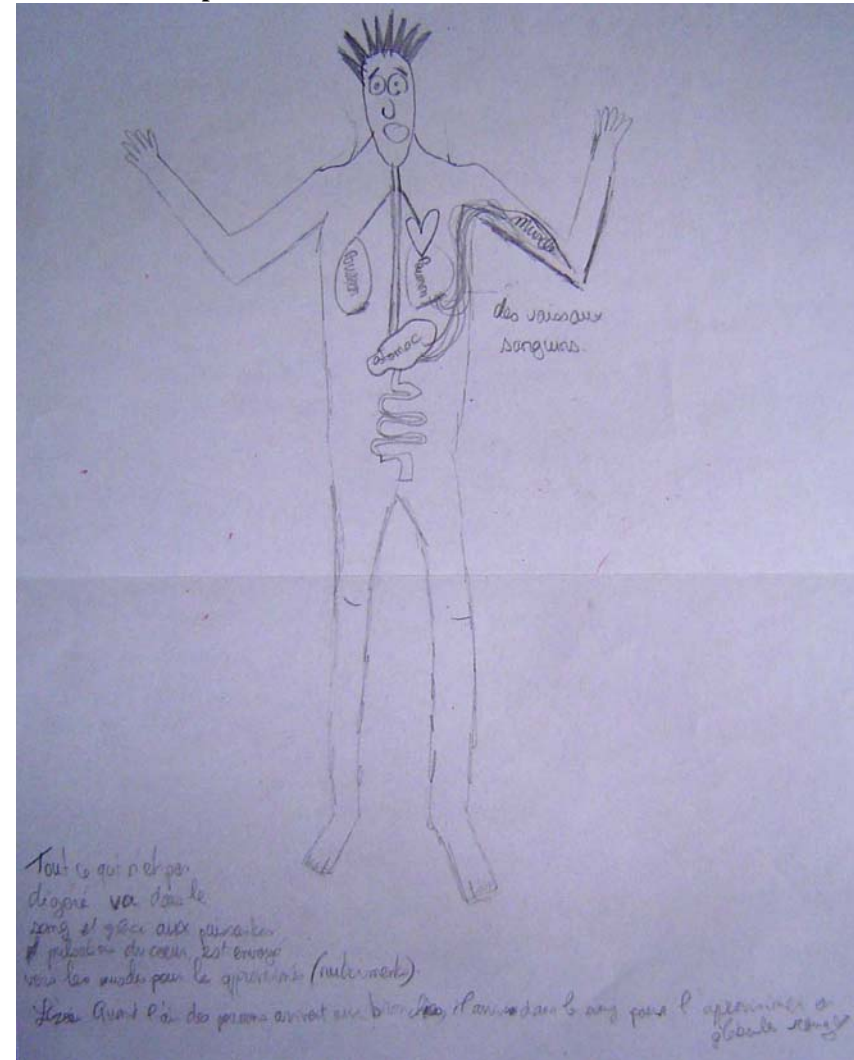
Annexe 1 - Groupe 4 : Léa



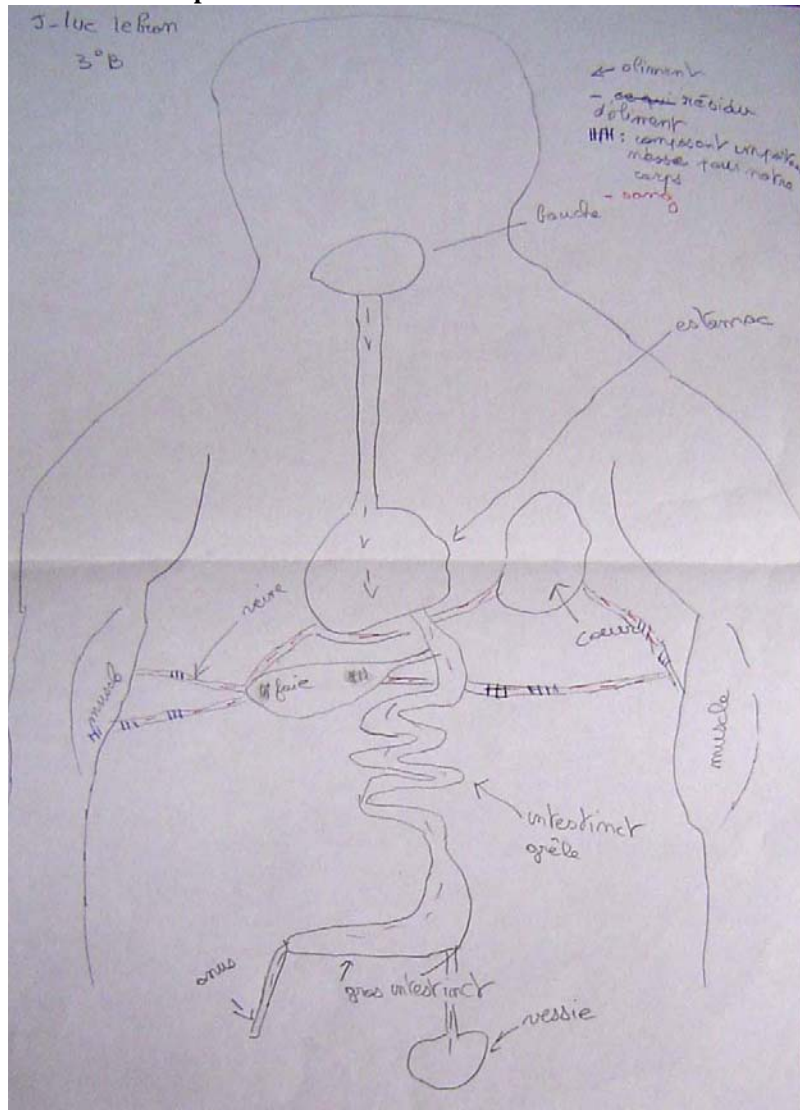
Annexe 1 - Groupe 4 : Maud



Annexe 1 - Groupe 5 : Samuel

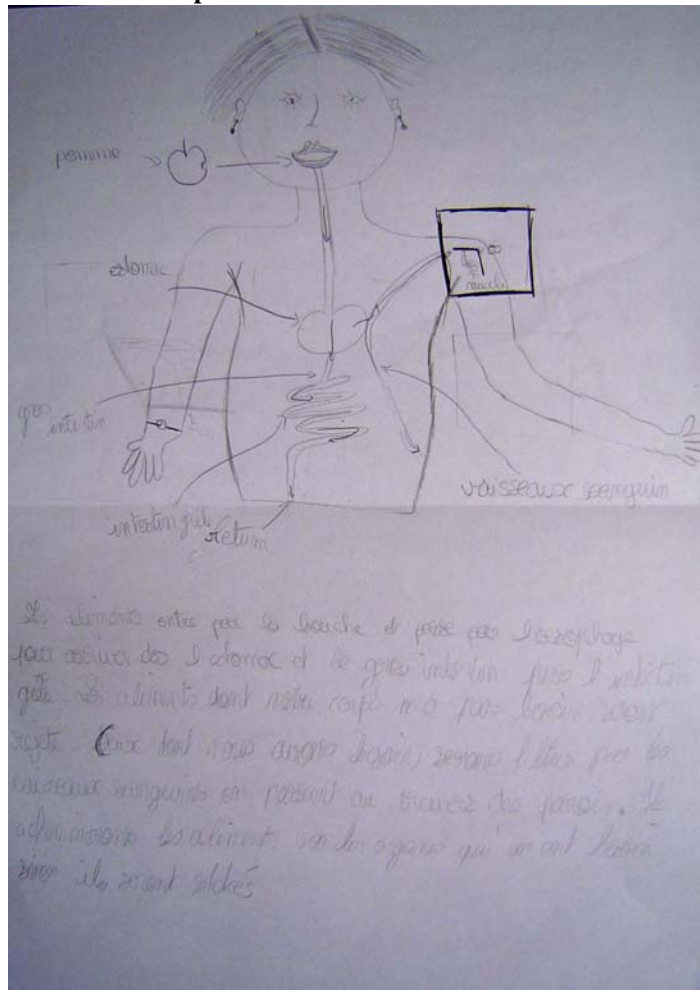


Annexe 1 - Groupe 5 : Jean Luc

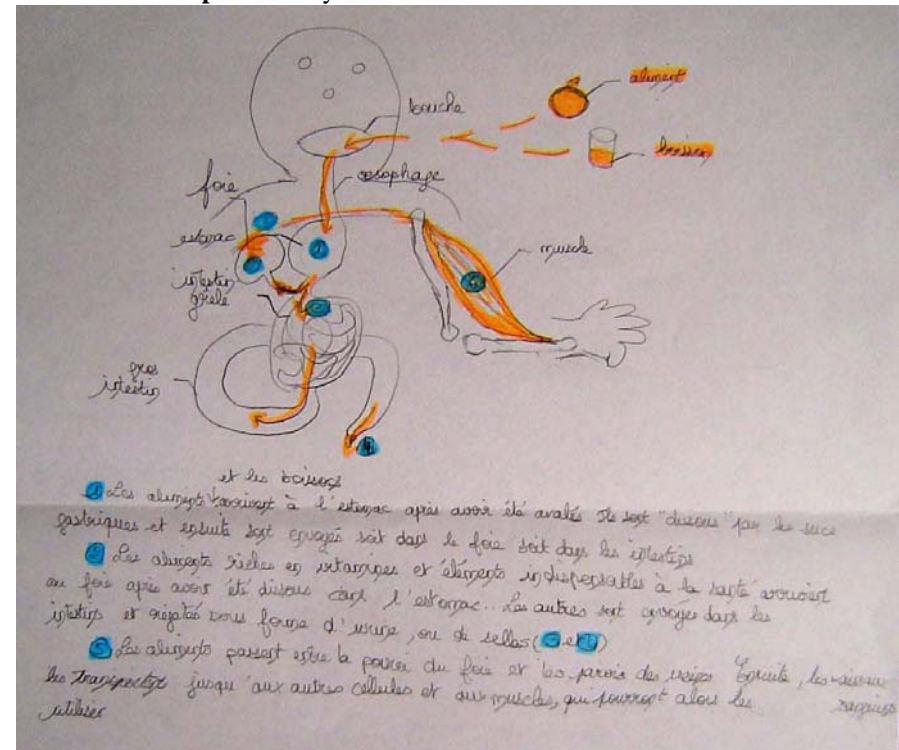


Les aliments sont avalés et passés par l'œsophage puis dans l'estomac qui lui sélectionne ce qui est bon qui se dirige vers le sang qui passe par des veines qui sont reliées avec les organes ou avec les muscles et ce qui n'est pas bon passe par l'intestin grêle puis le gros intestin puis vers la vessie puis l'anus ce qui est bon pour notre corps est transformé en énergie ce qui permet à nos organes et à nos muscles de fonctionner.

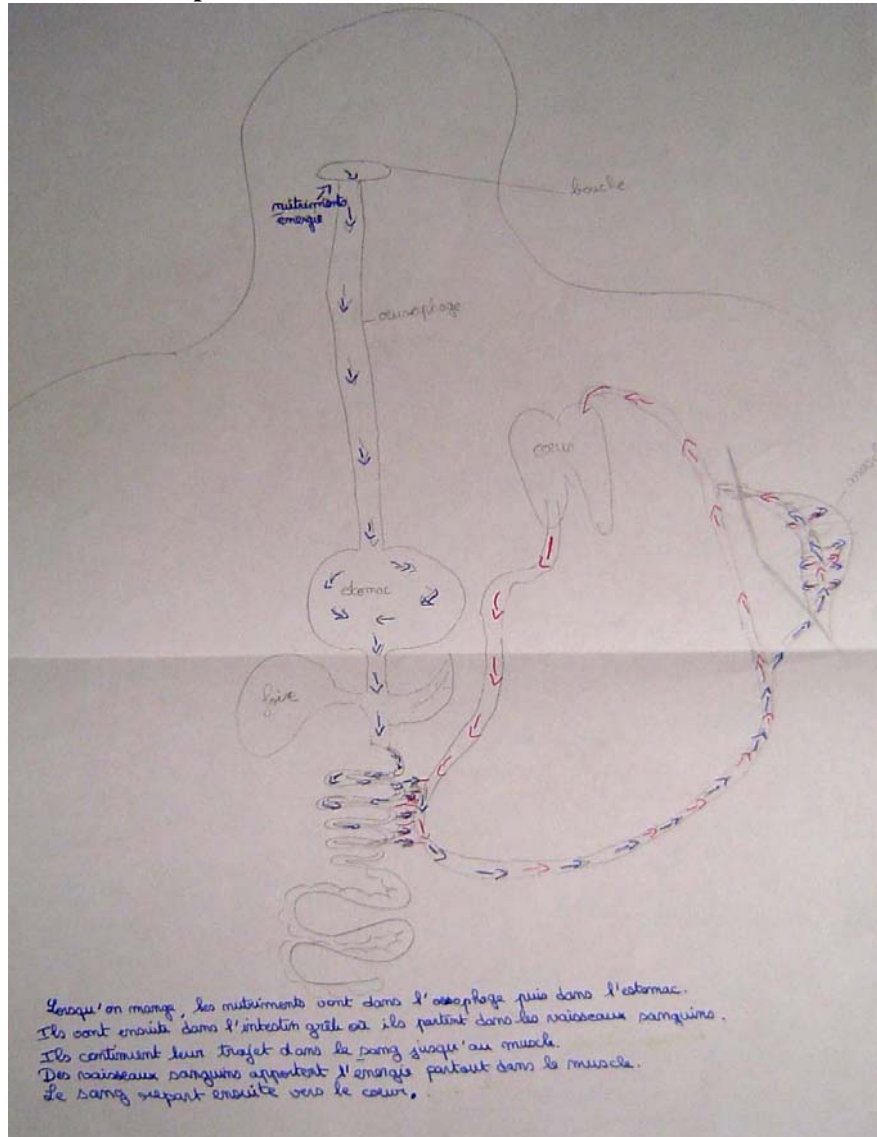
Annexe 1 - Groupe 5 : Anne-Laure



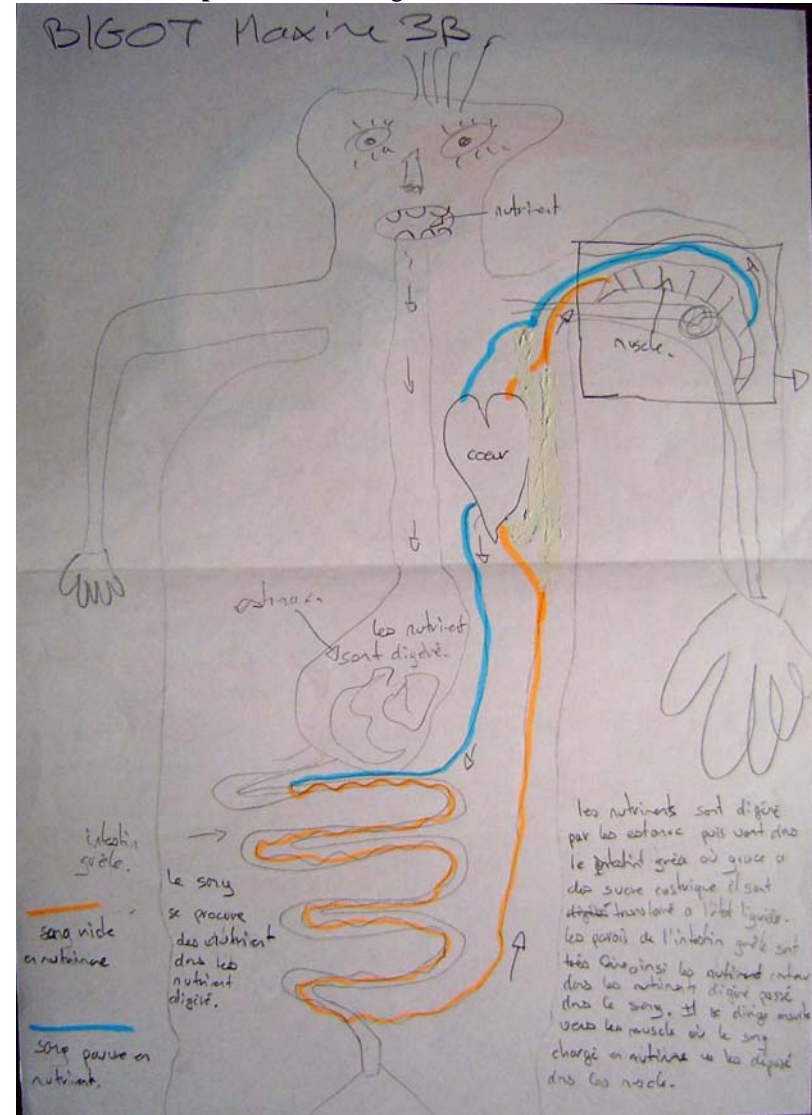
Annexe 1 - Groupe 5 : Cindy



Annexe 1 - Groupe 6 : Sabrina

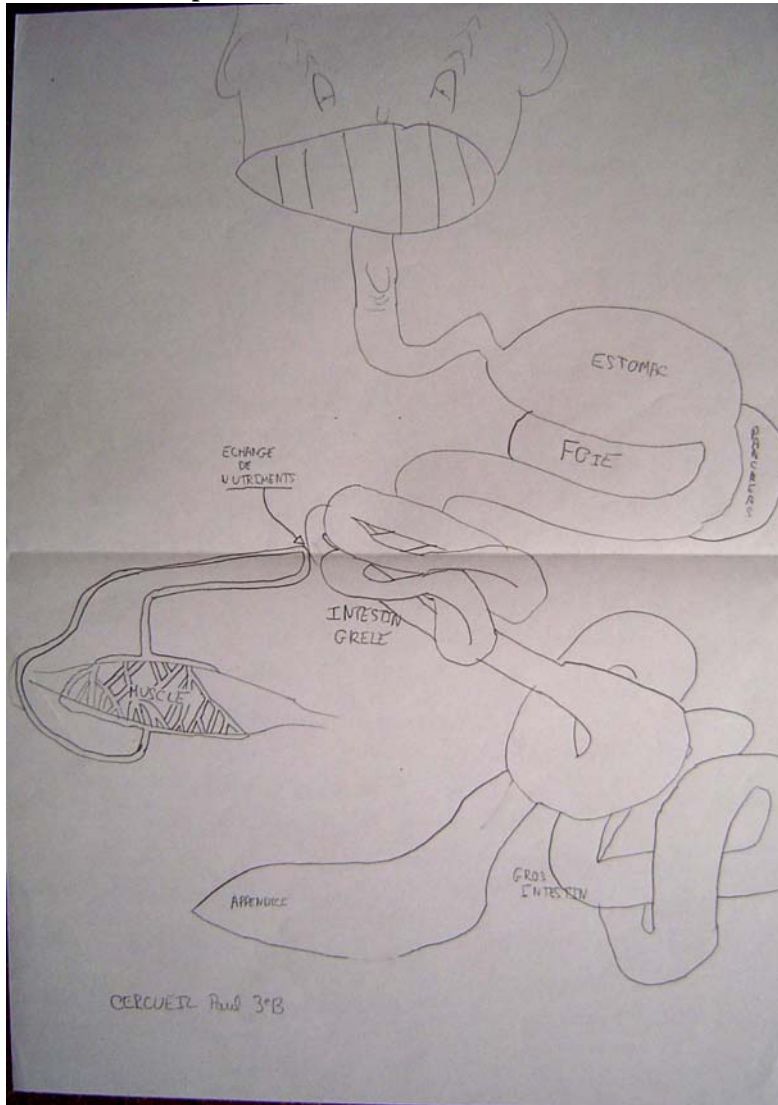


Annexe 1 - Groupe 6 : Maxime Big

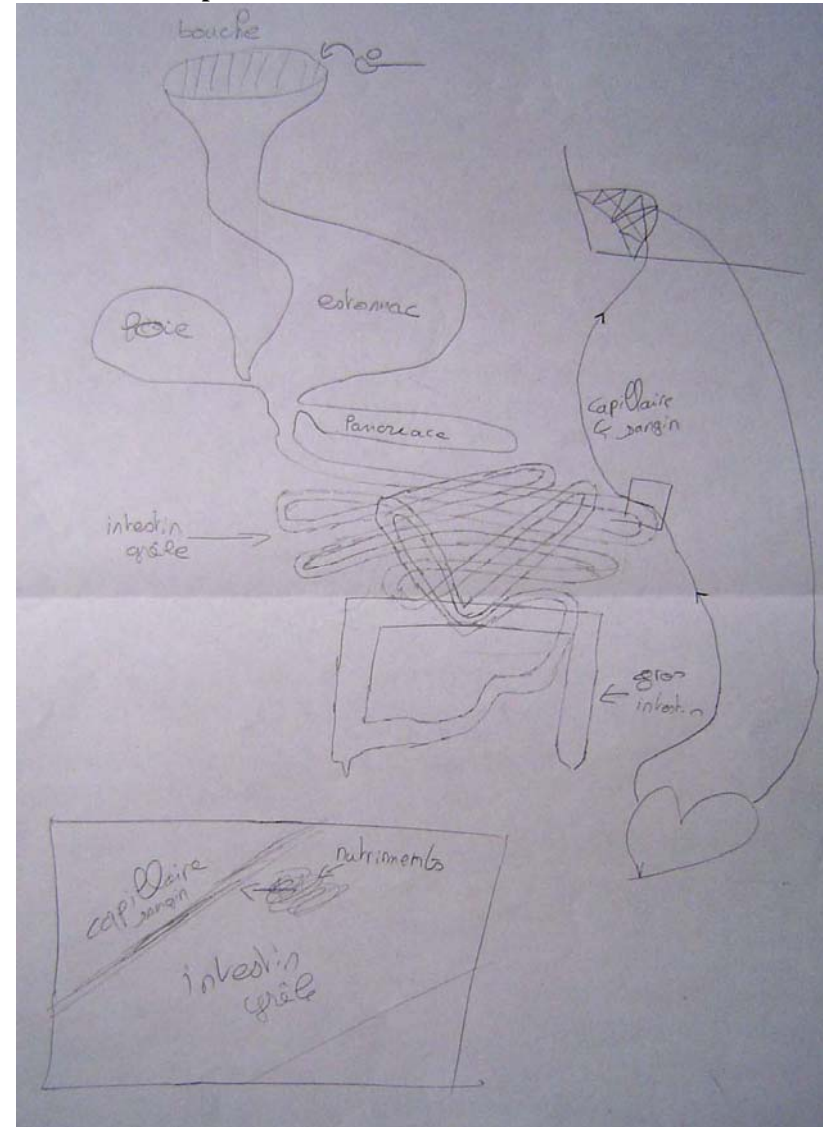


Annexe 1 – Les productions individuelles – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

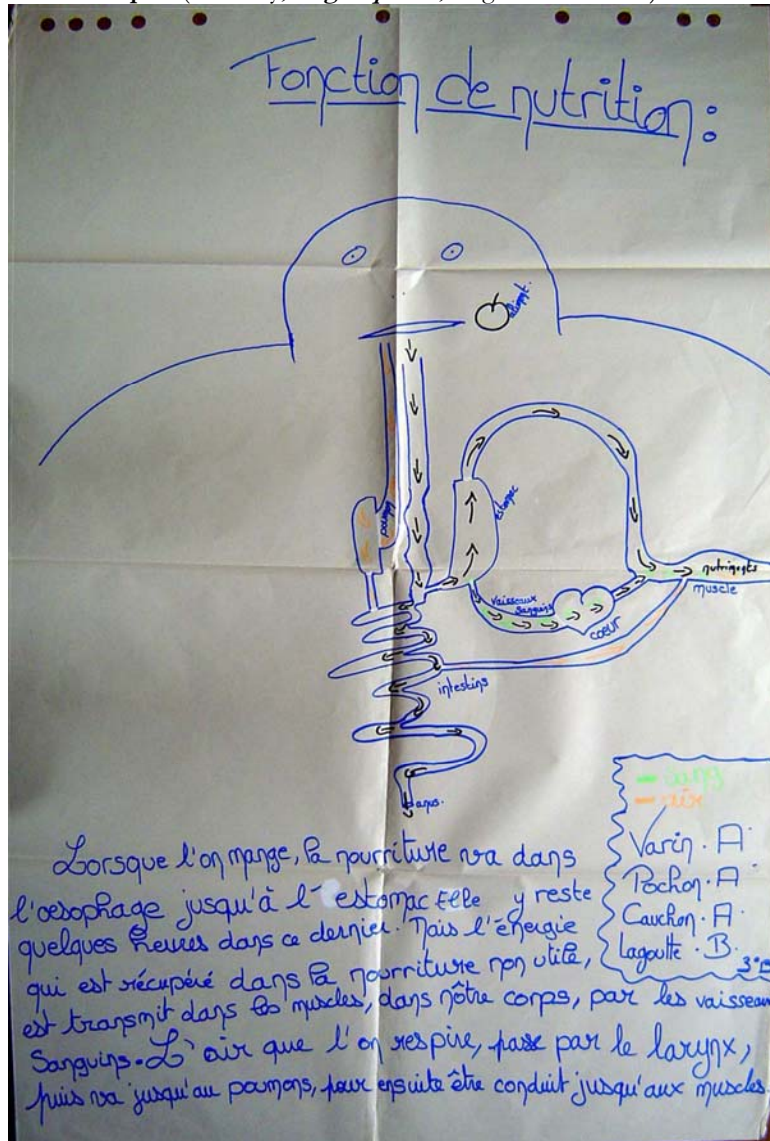
Annexe 1 - Groupe 6 : Paul



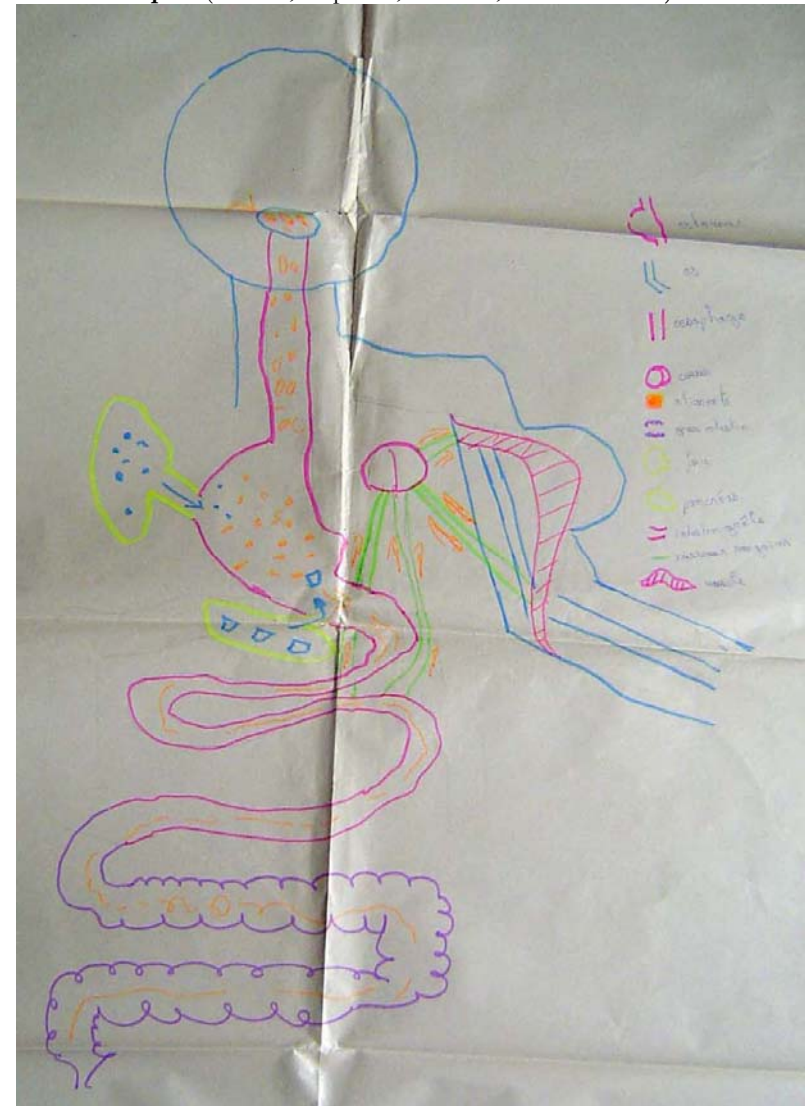
Annexe 1 - Groupe 6 : Fabien



Annexe 2 : Groupe 1 (Anthony, Angélique P., Angéline & Benoît)

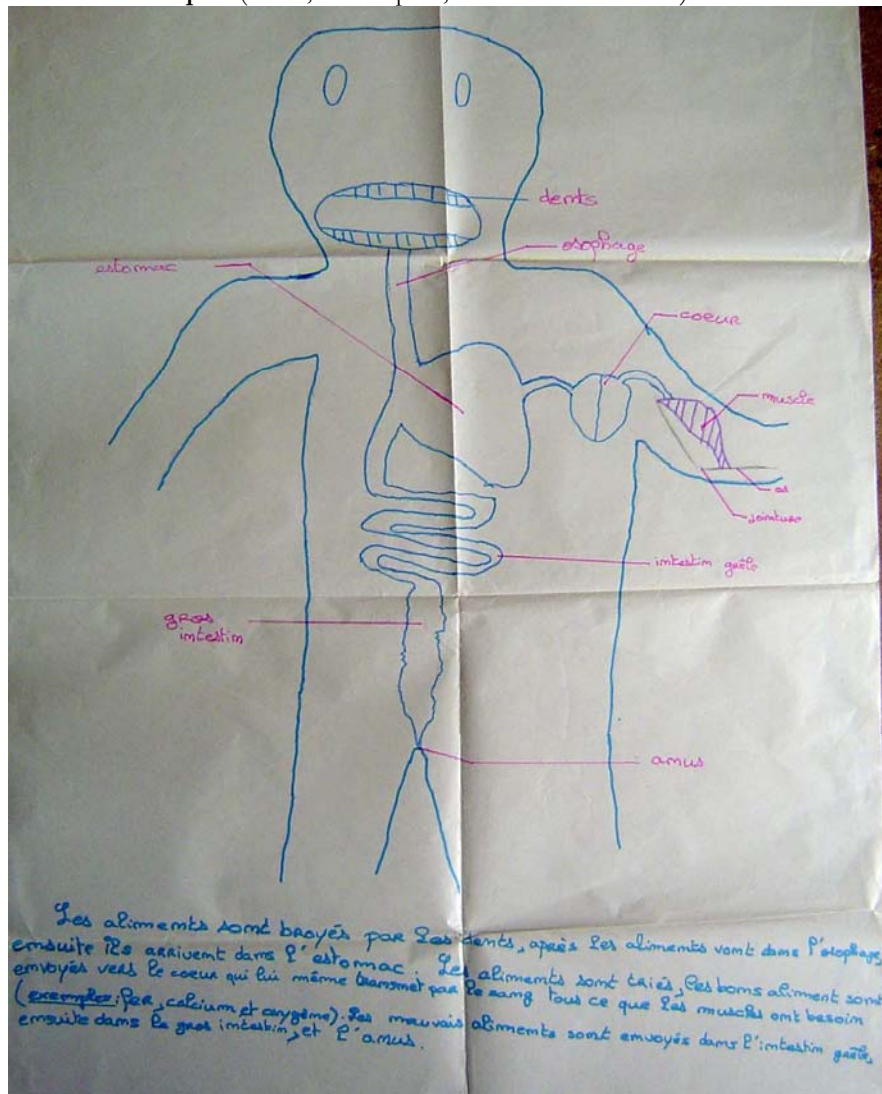


Annexe 2 : Groupe 2 (Manuel, Stéphane, Clément, Chloé & Kévin) :

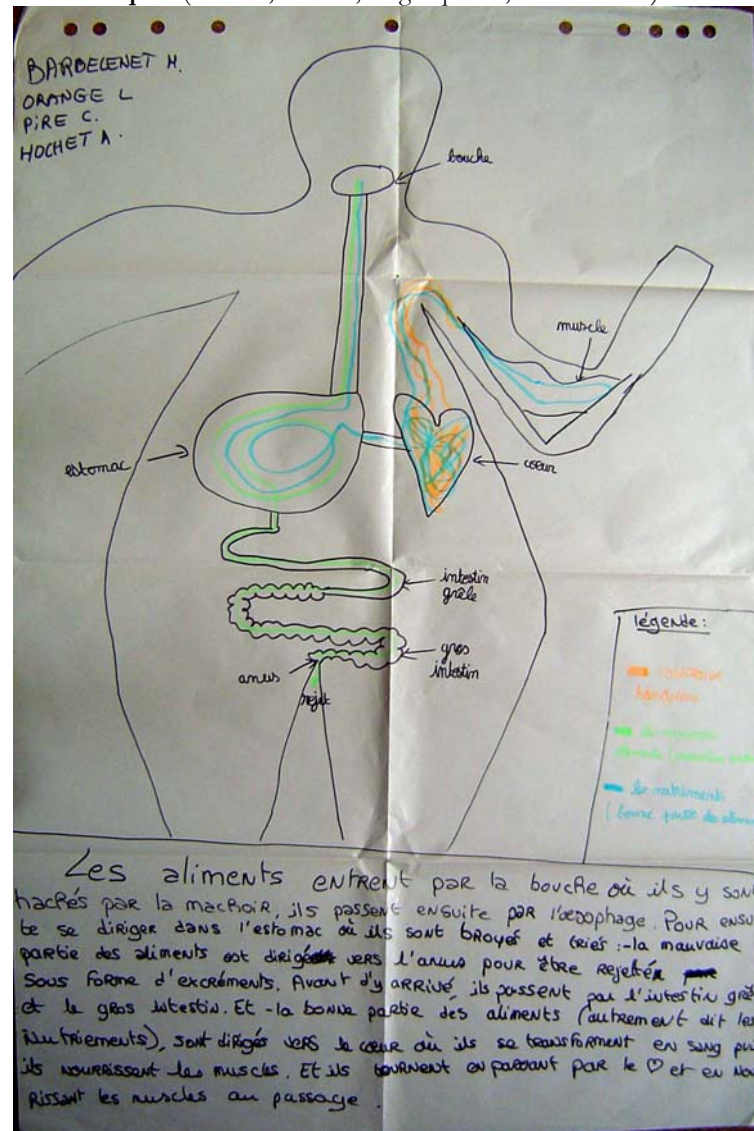


Annexe 2 – Les productions de groupe – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

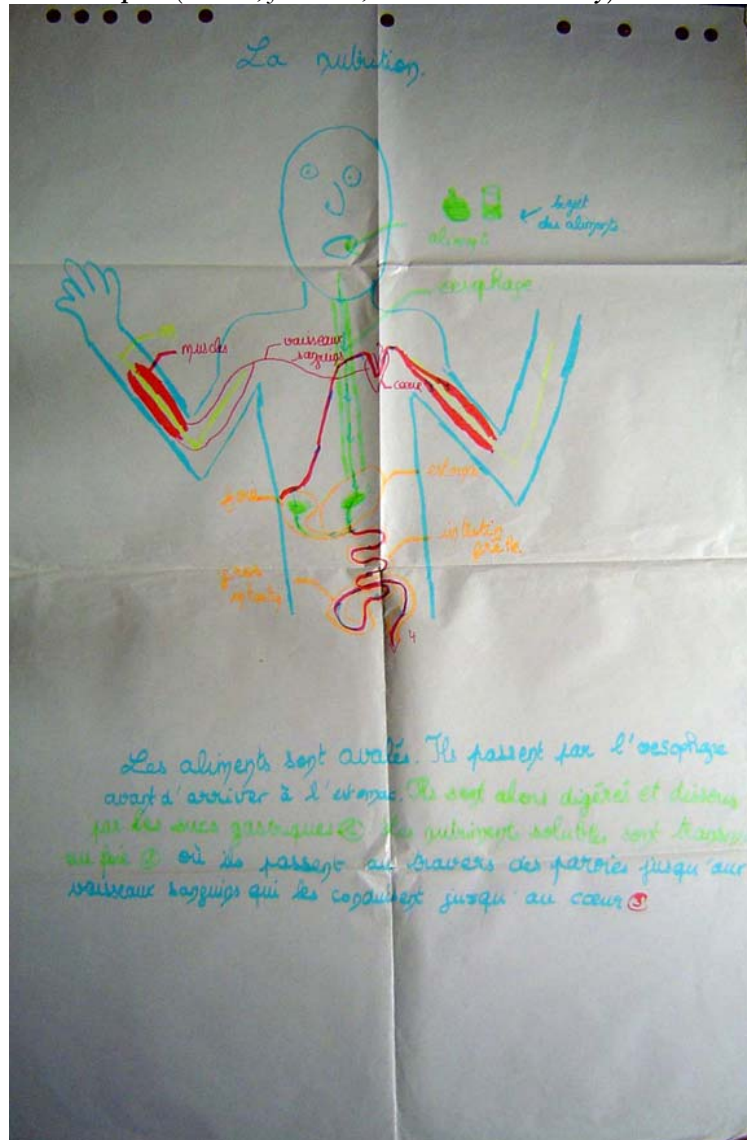
Annexe 2 : Groupe 3 (Lolita, Christopher, Maxime Bil & Florian)



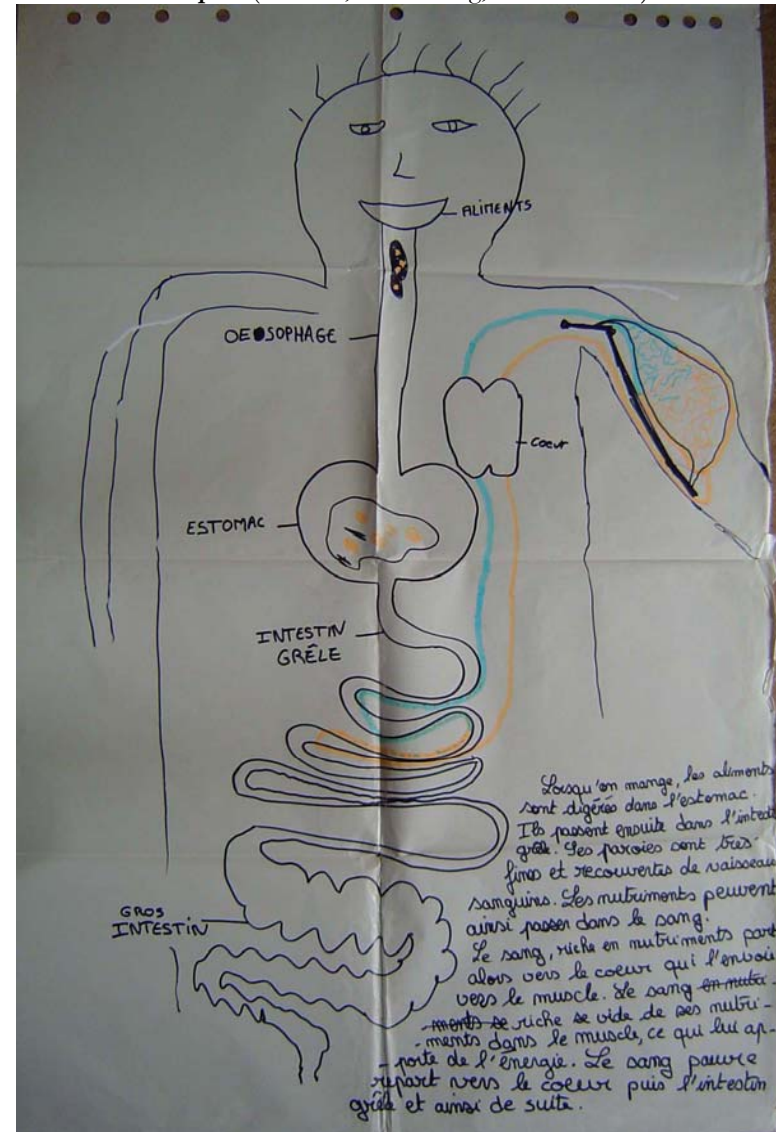
Annexe 2 : Groupe 4 (Camille, Maëva, Angélique H., Léa & Maud) :



Annexe 2 : Groupe 5 (Samuel, Jean-Luc, Anne-Laure & Cindy)



Annexe 2 : Groupe 6 (Sabrina, Maxime Big, Paul & Fabien) :



Annexe 3 – L script du débat – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

Annexe 3. Le script du débat – Corpus 3^e – La nutrition humaine

1	Angélique	Nous en fait on pense que quand on mange quelque chose ça va dans l'œsophage jusque dans l'estomac et puis que ensuite / ben le // l'organisme il trie ce qui est bon et ce qui est pas bon // Ce qui est bon passe dans le sang / dans tous les organes quoi / ce qui n'est pas bon continue dans les intestins pour ensuite être rejeté
2	Enseignant	Vous pouvez nous dire ce que vous avez écrit en dessous
3	Angélique :	L'air que l'on respire entre par le larynx va jusqu'au poumon pour ensuite être conduit jusqu'aux muscles
4	Enseignant :	Pourquoi vous parlez de l'air / là
5	Angélique :	Je sais pas
6	Enseignant :	Mais vous le faites figurez sur votre schéma
7	Enseignant :	Quelle est sa fonction
8	Anthony :	Ca sert pas à grand-chose
9	Enseignant :	Ca sert pas à grand-chose / nan / autrement oui Benoît
10	Benoît :	L'air qu'on respire entre par les poumons où il est trié et ensuite il donne de l'oxygène au muscle
11	Enseignant :	Est-ce que vous avez des questions sur le fonctionnement de / Maxime oui
12	Maxime :	Bah c'est pris par quoi en fait / je vois pas très bien / mais ils disent que l'organisme trie ce qui est bon et ce qui est pas bon / mais, ça va au muscle comment
13	Maxime :	Comment va ce que / l'organisme il choisit ce qui est bon mais comment ça va jusqu'au muscle en fait
14	Angélique :	Par les vaisseaux sanguins quand ça passe dans le sang
15	Enseignant :	Alors, qu'est-ce qui passe dans le sang
16	Angélique :	Eh // eh // les nutriments
17	Enseignant :	donc les nutriments passent dans le sang et ils viennent d'où les nutriments
18	Angélique :	de ce que l'on a mangé //
19	Enseignant (à destination de Maxime)	et vous vous voulez savoir comment se fait le tri / c'est ça /si j'ai bien compris / comment il sépare
20	Maxime :	oui et comment ça passe des intestins au sang.
21	Enseignant :	Ca passe pas dans les intestins a priori
22	Maxime :	je sais pas trop comment qu'ils ont dit
23	Enseignant :	Vous pouvez nous re-expliquer comment ça arrive dans le sang là / parce qu'à priori ça n'est pas clair // Anthony, comment ça arrive dans le

		sang
24	Anthony :	Bah je sais pas moi
25	Enseignant :	Vous pouvez nous montré où vous avez mis du sang angélique
26	Angélique (montre sur affiche) :	Bah / à partir de l'estomac
27	Enseignant :	À partir de l'estomac / c'est ça, c'est là où c'est vert
28	Angélique :	Oui
29	Enseignant :	Alors comment se fait le tri entre ce qui est bon et ce qui n'est pas bon, pour reprendre la question de Maxime.
30	Enseignant :	Pourquoi il faut que ce soit trié ?
31	Benoît :	Parce que certaines choses ne peuvent pas être utilisées pour le corps.
32	Enseignant :	Il y a un tri parce que certaines choses ne peuvent pas être utilisée par le corps. Affiche suivante merci
33	Enseignant :	... (introduction du projet d'écoute pour la classe)
34	Clément :	Alors les nutriments, ils passent par l'œsophage, l'estomac et ils passent par le sang dans l'intestin et ils nourrissent les muscles.
35	Enseignant :	Quand vous dites « ils », vous parles de quoi ?
36	Clément :	Bah, des nutriments.
37	Enseignant :	Sur votre affiche, vous avez mis aliment, en orange, c'est la même chose aliment et nutriment ?
38	Clément :	Oui.
39	Enseignant :	Alors, des questions complémentaires ?
40	Benoît :	L'air, il va dans l'estomac aussi ?
41	Clément :	Il passe par les poumons.
42	Enseignant :	Ca n'apparaît pas là, c'est juste ce qui concerne les aliments.
43	Léa :	...
44	Enseignant :	Il n'y a pas de tri. Est-ce qu'il y a un, mais il n'y a pas de tri sur votre affiche. La question, c'est pour les trois membres du groupe, Kévin ? Est-ce qu'il y a un ou pas de tri, parce qu'avant il y a un tri entre ce qui est bon et ce qui est mauvais sur l'affiche d'avant, c'est ça Anthony, il y a un tri entre ce qui est bon et ce qui est mauvais et là il n'y a pas de tri, c'est ça ?
45	Kévin :	Y a un tri au niveau des intestins.
46	Enseignant :	Il y a un tri au niveau de l'intestin. Vous pouvez venir nous montrer où il y a un tri.
47	Kévin se déplace et montre où a lieu le tri.	
48	Enseignant :	Qu'est-ce qui va ... si j'ai bien compris votre schéma, en rose c'est le tube digestif et en vert c'est les vaisseaux sanguins, c'est ça ? Alors

Annexe 3 – L script du débat – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

		qu'est-ce qui va du tube digestif aux vaisseaux sanguins ?
49	Kévin :	Les nutriments, en orange.
50	Enseignant :	Les nutriments en orange.
51	Kévin :	...
52	Enseignant :	Donc, il y aurait un tri quand même. Et le tri, il se fait comment ? ... Pourquoi il faut qu'il y ait un tri ?
53	Kévin :	Bah, tout ce qui est mauvais, il faut pas qu'il aille dans le sang.
54	Enseignant :	Pourquoi ?
55	Kévin :	Pour pas attraper des maladies.
56	Enseignant :	Alors, les écarts maintenant. Si on essaye de regarder ce qui est pareil et pas pareil entre les deux modèles. Les différences et les points communs ?
57	Benoît :	Comme point commun aux deux schémas, il y a un tri.
58	Enseignant : (en notant au tableau) :	Il y a un tri. Dans le premier cas, le tri il se fait en fonction de ..., comment vous avez dit ça, Angélique ? Vous avez dit ça comment le tri ? Vous avez dit qu'il y a un tri entre ce qui était bon et mauvais et vous, vous nous dites que ce qui est trié c'est ...
59	Kévin :	C'est pareil.
60	Enseignant :	C'est pareil, bon/mauvais. Donc, dans les deux cas il y a un tri entre ce qui est bon et ce qui est mauvais. Autre différence ou autre point commun entre les deux affiches ? Qu'est-ce qui est pareil et pas pareil entre les deux modèles ? Ils sont exactement pareil ?
61	Clément:	Y a pas d'air.
62	Enseignant :	En ce qui concerne l'air, y a pas... autrement, est-ce que vous voyez des écarts entre les deux modèles. C'est les deux mêmes affiches que vous avez au tableau ?
63	Collectif :	nan
64	Enseignant :	Bon alors, si vous dites nan, c'est qu'il doit y avoir des écarts.
65	Fabien :	Avec le premier, c'est dans l'estomac et le deuxième c'est l'intestin.
66	Enseignant :	Alors quoi ? Qu'est-ce qui a lieu dans l'estomac dans un cas et dans ...
67	Fabien :	Dans le cas 1, quand ça passe dans le sang c'est dans l'estomac et dans le cas 2
68	Enseignant :	Le passage dans le sang, c'est-à-dire, Maëva, le tri,
69	Maëva :	Le tri a lieu, y en a un qu'a lieu dans l'estomac et l'autre dans l'intestin
70	Enseignant :	Donc le lieu du tri n'est pas le même, là c'est dans l'estomac, c'est ça, alors qu'ici c'est au niveau de l'intestin grêle. Alors, on continue à explorer les différences. Quoi d'autre ? Oui, Benoît ?
71	Benoît :	Dans l'affiche numéro 1, et bien, il y a un cœur.
72	Clément:	Dans la notre aussi.

Le professeur montre le cœur dans les deux affiches

73	Enseignant :	Alors pourquoi vous nous mettez un cœur, là, dans les deux affiches ? Pourquoi ils ont mis un cœur ? Oui, Manuel ?
74	Manuel :	Bah, faut bien qu'on respire.
75	? :	C'est ce qui fait circuler le sang.
76	Enseignant :	Alors, allez-y Maëva.
77	Maëva :	C'est ce qui fait changer le sang.
78	Enseignant :	C'est-à-dire ? Qu'est-ce que vous voulez dire quand vous dites ce qui fait changer le sang.
79	Maëva :	...
80	Enseignant :	Donc, il y a deux parties dans le cœur (en montrant une affiche), oui tout le monde a mis deux parties, il y a une partir où le sang arrive...
81	Maëva :	Et une où le sang part.
82	Enseignant :	28 ... une partie où le sang part, c'est ça ? (prise de note au tableau). Autrement sur l'anatomie de l'appareil digestif, oui Benoît ?
83	Benoît :	Le dioxygène passe dans le cœur, euh ..., passe dans le sang au niveau du cœur.
84	Enseignant :	Passe dans le sang au niveau du cœur ... (répète et note au tableau)
85	Enseignant :	Autrement, toujours sur l'anatomie du tube digestif, ils ont organisé ça pareil ? Alors, (en montrant sur l'affiche), ça c'est quoi, les deux organes jaunes que vous avez mis ?
86	Kévin :	Le foie et le pancréas (en montrant la légende)
87	Enseignant :	Alors, ça (en montrant le foie), c'est lequel ?
88	Manuel :	C'est le foie.
89	Enseignant :	Et ça, c'est le ...
90	Manuel :	Le pancréas.
91	Enseignant :	Alors pourquoi vous ne les avez pas mis vous, à quoi ils servent, pourquoi vous les avez mis ici ?
92	Kévin :	bah, ils dissolvent les aliments.
93	Enseignant :	Vous voyez que vous ne nous avez pas tout dit. Donc, ils ont ajouté deux organes pour dissoudre les aliments, c'est ça, le foie et le pancréas. Alors comment ils font pour dissoudre les aliments ?
94	Kévin :	Bah, ils envoient des acides ...
95	Enseignant :	Ils envoient des acides, le foie et le pancréas envoient des acides pour dissoudre les aliments c'est ça ... c'est-à-dire pour les rendre ...
96	Kévin :	ben, plus petit.
97	Enseignant :	Pour les rendre plus petit,
98	Kévin :	Pour, ..., pour qu'ils puissent aller dans le sang.
99	Enseignant :	Donc faut, il faut, c'est ça, il faut qu'ils soient plus petits pour pouvoir aller dans le sang, sinon ils ne peuvent pas y aller. Qu'est-ce que vous

Annexe 3 – L script du débat – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

		aviez dit, Anthony et Angélique, à propos de la transformation des aliments, vous aviez dit ..., quelque chose, nan ? Angélique, au niveau de la transformation des aliments ? Nan, rien ? Bon, ben voilà un écart au niveau de la transformation. (note au tableau) Les acides produits par l'estomac rendent les aliments plus petits, c'est ça ?
100	Florian :	Les aliments, ils passent dans l'œsophage et dans l'estomac (montre le trajet), il y a un tri, ce qui n'est pas bon, va dans l'intestin grêle et ... et après est rejeté.
101	Enseignant :	Le tri, il a lieu où ? Essayez d'être précis.
102	Florian :	Dans l'estomac.
103	Enseignant :	Il y a un tri dans l'estomac. Montrez nous, « ce qui est bon » où ça va ?
104	Florian :	Ca va dans le cœur.
105	Enseignant :	D'accord et ce qui est mauvais ?
106	Florian :	Bah, dans l'intestin grêle.
107	Enseignant :	Est-ce que ça va là ?
108	Collectif :	oui
109	Enseignant :	Est-ce que vous avez des questions à leur poser, là, sur leur ... Est-ce que vous comprenez bien comment il fonctionne ? Maëva ?
110	Maëva :	Ils ne parlent pas d'air non plus.
111	Enseignant :	Ils parlent pas d'air non plus.
112	Anthony ? :	Attend, il a pas fini.
113	Enseignant :	Est-ce que ça intervient l'air dans votre modèle.
114	Florian :	nan
115	Enseignant :	Nan, ça n'intervient pas dans l'apport d'énergie et ..., c'est ça, un, ça n'intervient pas dans l'apport d'énergie et de matière aux muscles. Donc, l'air n'intervient pas dans cette affaire là. Ca concerne uniquement les aliments, si je comprends bien, ok. Quoi d'autre ? Maëva ?
116	Maëva :	Bah pour le cœur il y a aussi une circulation.
117	Enseignant :	Alors, est-ce qu'il y a une circulation là ?
118	Maëva :	Il y a une partie, mais il y a que deux canaux.
119	Enseignant :	Maëva ? Allez-y, allez-y
120	Maëva :	Il faut plus de canaux, y en a que deux là.
121	Enseignant :	Alors, est-ce que cela peut circuler avec vos deux tuyaux, c'est ça la question, un, Maëva ?
122	Maëva :	Bah, non, ça passe juste.
123	Enseignant :	Oui, Sabrina ?
124	Sabrina :	Ca fait pas un cycle.

125	Enseignant :	Ca fait pas un cycle, mais pourquoi il faudrait que ça fasse un cycle ?
126	Benoît :	Pour pouvoir le changer.
127	Léa :	Pour pouvoir que le sang s'en aille.
128	Enseignant :	Pour renouveler le sang. Alors comment il est renouvelé le sang ici ? ...
129	Enseignant :	Maxime, vous étiez ... vous pouvez les aider, ceux qui étaient dans le groupe, quand il y a des questions, ils peuvent intervenir.
130	Enseignant :	Ca va rester en suspens cette histoire de circuit, là ...
131	Maëva :	Bah, ça veut dire que si ça marche comme ça, ça veut dire que le sang il arrive au muscle mais il repart pas. Donc, il y a trop de sang dans le muscle. Si on regarde leur schéma...
132	Enseignant :	Oui, alors si on regarde leur schéma, allez-y..., vous avez entendu Maxime, ce que dit Maëva ?
133	Maxime :	Bah oui, Maëva, elle a raison, parce que
134	Enseignant :	Alors, attendez, on recommence, tout le monde écoute, on va essayer se de débrouiller avec ça, alors..., donc, vous vous dites Maëva, allez-y...
135	Maëva :	Si ça fonctionnait comme ça le sang il arrive au muscle, mais il ne repart pas, donc ça fait trop de sang dans le muscle.
136	Enseignant :	Maxime ?
137	Maxime :	Bah normalement, ..., moi je pense que c'est plutôt un circuit que se passe, faudrait qu'il y ait un retour en fait, du sang.
138	Enseignant :	Un retour où ?
139	Maxime :	Vers le cœur et du cœur vers l'estomac.
140	Maëva :	Le sang, il passe dans le muscle, mais il reste pas.
141	Enseignant :	Le sang, il passe dans le muscle et il reste pas.
142	Maxime :	Nan, bah nan, il dépose ce qui est bon.
143	Enseignant :	Et pourquoi il ne peut pas rester dans le muscle ?
144	Maxime :	Bah si il s'accumule
145	Benoît :	A force, il y aura trop de sang... il va éclater ...
146	Enseignant :	Il va falloir que l'on voit cette histoire de ... circuit là (en montrant l'affiche). On verra les autres propositions qui seront faites. Si on regarde le circuit précédent, c'est à peu près le même. (Florian montre un flèche sur l'affiche précédente). A alors dites, Kévin, là (en montrant l'affiche) les flèches elles vont dans un seul sens ou dans les deux sens ?
147	Kévin :	Dans les deux.
148	Enseignant :	Ca fait un va et vient ?
149	Kévin :	Bah oui.

150	Enseignant :	Oui ?
151	Kévin :	Oui.
152	Enseignant :	Oui, alors là il y a effectivement un écart puisque ici on a un va et vient (en montrant affiche 2), alors qu'ici (en montrant affiche 3) ça va dans un seul sens. là ça va dans un seul sens, c'est ça, parce que ça règle le problème, Maxime, si ça va en va et vient comme ils l'ont indiqué ici, ça règle le problème de la ..., le sang, il part et il vient.
153	Maxime :	On a appris ça il y a déjà longtemps que le sang, ça se passe pas comme ça. Il y a un circuit d'aller et de retour, c'est comme....
154	prise de parole collective	...
155	Maxime :	Bah, aussi le tri des aliments il se passe pas dans l'estomac, il se passe dans l'intestin grêle.
156	Samuel :	Ca, c'est bien vrai.
157	Maxime :	Et, c'est un circuit qui se fait entre le sang riche et le sang pauvre en nutriments.
158	Enseignant :	C'est le ... c'est votre modèle, ça ?
159	Maxime :	Oui, c'est ça.
160	Enseignant :	Donc, on le présentera tout à l'heure, on verra, mais, vous voyez bien que, il y a ces deux possibilités, là (en montrant l'affiche du groupe 3) effectivement il y a un problème puisqu'il y aurait une accumulation de sang ici, c'est ça, que vous dites et que ce n'est pas possible que ça s'accumule dans le muscle, donc il faut que le sang il reparte. Ici (en montrant l'affiche du groupe 2), le problème il est réglé puisqu'il y a un va et vient. Alors, il faudra que l'on voit si, la circulation ici, c'est un va et vient, il faudra que l'on voit, si, a priori, vous êtes tous d'accord sur la façon dont ça circule. Benoît ?
161	Benoît :	Qu'est-ce qui propulse le sang dans le sens inverse ?
162	Enseignant :	Alors, qu'est-ce qui propulse le sang, ...?
163	Collectif :	Le cœur.
164	Enseignant :	Dans le va et vient, c'est aussi le cœur, j'imagine, Kévin ?
165	Kévin :	Il aspire le sang.
166	Maxime :	Bah nan, il peut pas le cœur aspirer le sang.
167	Enseignant :	Oui, Maxime ?
168	Maxime :	Le cœur, il sert qu'une pompe, enfin que..., il propulse le sang, il peut pas l'aspirer, donc c'est un circuit, enfin je sais pas, c'est pas facile à expliquer, mais on a appris ça il y a un moment.
169	Maëva :	... c'est toujours projeté dans le même sens.
170	Enseignant :	C'est toujours projeté dans le même sens.
171	Maëva :	Bah oui

172	Maxime :	Il y a qu'un sens de circulation.
173	Enseignant :	Est-ce qu'il y a des questions sur, enfin, vous voyez bien, la difficulté là, les échanges que l'on commence à avoir sur la circulation, il va falloir que, on va voir d'autres modèles qui après vont présenter d'autres systèmes de circulation surtout les deux derniers. On va garder ça pour après. Est-ce qu'il y a d'autres questions sur le tri, la transformation, le tri, etc.... sur la transformation vous n'avez rien dit encore, c'est-à-dire que les aliments ils ne sont pas transformés, si ? C'est directement les aliments qui passent dans le cœur et dans le muscle ?
174	Florian :	Ils sont en petits morceaux.
175	Enseignant :	Comment ils sont en petit morceau ?
176	Florian :	C'est les sucs digestifs.
177	Enseignant :	Alors, c'est les sucs digestifs. Ils sont où les sucs digestifs, Maxime ?
178	Maxime	...
179	Enseignant :	Donc, vous reprendriez bien le modèle d'à coté.
180	Samuel :	Le suc gastrique qu'on avait vu.
181	Enseignant :	Donc, le suc gastrique, produit par ...
182	?:	Par l'estomac.
183	Enseignant :	Donc le suc gastrique produit par l'estomac.
184	Enseignant :	Pourquoi il faut que cela soit mis en tout petit ?
185	Florian :	Sinon, ça passerait pas dans le sang.
186	Enseignant :	Sinon, ça ne passerait pas dans le sang. Et si ça peut pas passer, ça peut pas aller jusqu'aux muscles. Et les mauvais aliments, qu'est-ce qu'ils deviennent ? Parce que il y a un tri bon/mauvais, c'est ce que vous avez dit, alors ce qui est mauvais, vous avez dit, ça va dans l'intestin, c'est ce qui est rejeté, c'est les excréments, c'est ça ? Très bien, alors, comparaisons, différences, ...
		<i>Prise de note au tableau concernant les propositions du groupe 3</i>
187	Maëva :	En fait, les aliments, on les avale par la bouche. Ils sont mâchés.
188	Enseignant :	Est-ce que tout le monde est d'accord avec ça ?
189	Collectif :	Oui
190	Enseignant :	Donc, les aliments rentrent par la bouche, ok. On s'est à peu près mis d'accord sur le fait que ça rentrait par la bouche.
191	Maëva :	C'est mâché par les dents et ça va dans l'estomac, là c'est trié.
192	Enseignant :	Alors dans l'estomac ?
193	Maëva :	C'est broyé. Ça rend les aliments liquides. Moi, je pense que ce qui est gros c'est ce qui est gros et ce qui est mauvais c'est rejeté. Et puis ce qui est petit et ce qui est meilleur, en fait, ça passe par le cœur et ça se transforme en sang et ça va dans le muscle, ... et ça fait un cycle

Annexe 3 – L script du débat – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

		dans le muscle.
194	Anthony :	On n'entend pas beaucoup.
195	Enseignant :	Bah, qu'est-ce que vous n'avez pas entendu ?
196	Anthony :	Bah, rien. Bah tout.
		<i>Mise au point sur les conditions d'une écoute possible.</i>
197	Enseignant :	Sur quel point vous voudriez avoir, que Maëva répète ?
198	Anthony :	Je sais pas, on n'a rien entendu.
199	Enseignant :	Alors, vous recommencez très fort Maëva.
200	Maëva :	Les aliments, ils sont broyés dans la bouche, mâchés, broyés, ensuite ils passent dans l'estomac, là il y a un tri, ce qui est gros et ce qui est mauvais, ça descend dans l'intestin grêle et c'est rejeté, et ce qui est petit et ce qui est meilleur, ça passe par le cœur, ça se mélange aux vaisseaux sanguins et après ça passe dans le muscle, ça fait un cycle.
201	Maxime :	Il est où le cycle ?
202	Léa :	On l'a pas fait le cycle.
203	Anthony :	Oui, mais ça revient par où ?
204	Maxime :	Y a un cycle
205	Maëva :	C'est le bleu en fait, mais on l'a pas fait (mais elle montre avec le doigt sur l'affiche un circuit clos).
206	Maxime :	C'est pas la même veine en fait, on va pas bien de loin, mais il y a deux circuits côte à côte.
207	Maëva :	Oui y a deux circuits.
208	Maxime :	D'accord.
209	Maëva :	On voit pas trop, mais
210	Enseignant :	Donc, il y a un qui emmène, un vaisseau sanguin qui emmène et l'autre qui rapporte. C'est ça ? oui ? Bon, d'autres questions ? ... Alors pourquoi, pourquoi, alors vous associez, vous dites, ce qui est « bon et petit » et « mauvais et gros », alors c'est, je comprends pas c'est...
211	Maëva :	Je pense ce qui est gros, ça peut pas être dans le sang.
212	Enseignant :	Mais, c'est ce qui est mauvais et en plus ce qui est gros ou c'est ce qui est mauvais et gros en même temps. Je vois pas...
213	Léa :	Nous, on sait pas.
214	Enseignant :	Votre tri
215	Maëva :	En fait, on sait pas trop, on sait pas si c'est plutôt par rapport à la grosseur, ou par rapport
216	Enseignant :	Donc si le tri se fait par rapport à la taille ou
217	Maëva :	Par rapport à ce qui est bon et mauvais.
218	Enseignant :	Ou par rapport à ce qui est bon et mauvais. Donc vous voyez, là, déjà. Oui Camille ?

219	Camille :	Je pense que ce qui est petit, c'est les vitamines contenues dans les aliments qui sont broyés et qui va dans le sang... et le reste c'est ce qui est pas utile pour le muscle.
220	Maëva :	Mais en fait, ce qui est bon et mauvais, c'est pas facile à distinguer, alors que ce qui est petit et gros, c'est facile à distinguer.
221	Enseignant :	Alors, vous pouvez nous répéter ça fort que tout le monde entende.
222	Maëva :	Je pense que c'est plus ce qui est petit et ce qui est gros parce que ce qui est bon et mauvais, c'est pas évident à trier, alors que petit et gros, c'est facile à trier.
223	Enseignant :	Qu'est-ce que vous en pensez les autres sur cette idée là ? Le tri bon/mauvais, vous dites, on sait pas trop comment il va se passer.
224	Maëva :	Mais, je pense que c'est plus logique que ce soit petit et gros parce que c'est plus facile à trier.
225	Enseignant :	Alors que le tri en fonction de la taille paraît plus facile à comprendre. Maxime.
226	Maxime :	Moi, je pense que c'est pas du tout comme, que tout est digéré avec les sucs gastriques et tout passe à l'état liquide dans l'intestin grêle.
227	Enseignant :	Pourquoi tout, pourquoi tout serait digéré ?
228	Maxime :	Les sucs gastriques, ils digèrent tout, parce que ben, y a, le corps a besoin de beaucoup de choses et il faut qu'il puise dans tout ce que l'on mange.
229	Enseignant :	Donc il y aurait, Les sucs gastriques, ils attaquent tout ce qu'il y a, enfin
230	Maxime :	Tout ce que l'on avale. Bon y a des choses que
231	Enseignant :	Tout ce qu'on avale, ils peuvent eux, ils peuvent pas choisir
232	Maxime :	Ils détruisent tout et après les veines sont en contact,
233	Enseignant :	C'est votre modèle ça, on verra plus tard, sur la transformation, c'est ça, les sucs gastriques, ils peuvent pas choisir ce qu'ils vont.
234	Maxime :	Ils détruisent tout et c'est après que
235	Enseignant :	Ok, benoît.
236	Benoît :	Ce que l'on broie, c'est petit, c'est gros pour les veines.
237	Enseignant :	Même ce qui a été broyé,
238	Benoît :	C'est pas encore assez broyé.
239	Enseignant :	C'est pas encore assez broyé. Léa, vous disiez quelque chose ?
240	Léa :	Bah que y a forcément quelque chose de rejeté.
241	Enseignant :	Il y a forcément quelque chose de rejeté. Vous voyez bien que que... qu'on commence à voir des choses qui sont un peu contradictoires qui apparaissent, Maxime qui nous dit que tout, que les acides des sucs digestifs ils attaquent tout ce qu'il y a dans l'estomac, ils peuvent pas choisir et d'un autre côté, il y a, et donc tout irait dans le sang, c'est ça ?
242	Maxime :	Ben, nan, nan, après il y aurait un tri qui se fait entre le sang, enfin un tri, je sais pas si on peut dire un tri, mais le sang il absorbe ce qu'il a besoin.

Annexe 3 – L script du débat – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

243	Enseignant :	Y a besoin de ce tri pour expliquer qu'il y a des choses de rejetées. Tout peut pas aller dans le sang, c'est ça, Léa, c'est bien ce que vous vouliez dire. De toute façon, il y a quelque chose, des éléments qui sont rejetés. Donc, c'est quoi qui est rejeté, c'est soit ce qui est trop gros, soit ce qui est pas bon, voilà les deux propositions que l'on a. Pour l'instant, on a ces deux propositions là, ce qui est rejeté, c'est soit ce qui est mauvais, soit ce qui est plus gros. Est-ce que le plus gros est forcément mauvais ?
244	Léa :	Ben non, il peut pas passer.
245	Enseignant :	Ben non, il peut pas passer, c'est tout. Et le plus petit, est-ce qu'il est forcément bon ?
246	Maëva :	Bah non mais il passe.
247	Enseignant :	Ben non, vous voyez, il y a une disjonction qui se passe entre ce qui est bon et pas bon et la taille. Il n'y a pas forcément une correspondance exacte, terme à terme. Sur la transformation, c'est mâché par les dents, c'est ce que vous avez dit, après broyé, alors, vous dites à un moment, c'est rendu liquide, c'est rendu liquide parce que c'est devenu très petit, c'est ça, est-ce que c'est rendu liquide parce que c'est devenu très petit ou est-ce que c'est parce que ce n'est plus pareil ?
248	Samuel :	Ben non, ça dissous le suc gastrique.
249	Enseignant :	Les sucs gastriques, ça dissous, c'est-à-dire ?
250	Samuel :	Eh ben, ça dissous.
251		...
252	Enseignant :	Ca veut dire quoi ça dissoudre ?
253		...
254	Enseignant :	Donc dissoudre, c'est ça, c'est transformer du solide en liquide.
255	Maxime :	Donc c'est pas cohérent avec, si à un moment c'est rendu liquide et que c'est dissous, tout peut passer dans le sang donc c'est pas cohérent
256	Enseignant :	C'est pas cohérent ?
257	Maxime :	Bah, pour moi, bah je sais pas, si tout est transformé à l'état liquide dans l'estomac, donc tout peut passer dans le sang, vu que si est gros est, tout est détruit, tout est transformé à l'état liquide, tout peut passer.
258	Enseignant :	Ah ??
259	Maëva :	Peut être que dans le liquide, il y a encore du petit et du gros.
260	Enseignant :	Peut être que dans le dissous, il y a encore du petit et du gros. Et est-ce que tout est forcément dissous ?
261	Maxime :	Il y a des choses que l'estomac ne peut pas digérer.
262		...
263	Enseignant :	Peut être que le tri, il se ferait bien entre
264	Maëva :	entre ce qui est petit et gros.
265	Enseignant :	Entre ce qui est petit et gros, c'est-à-dire entre ce qui digéré et ce qui n'a pas été complètement digéré. J'ai une question sur le circuit, là. Vous

		nous dites, ça fait un circuit comme ça (montre le circuit avec le doigt), ça règle le problème de tout à l'heure, d'accumulation de sang dans le muscle. Par contre comment ça va (montre le tuyau qui va de l'intestin au cœur), qu'est-ce qu'il y a dans votre tuyau ?
266	Léa :	Bah, des nutriments.
267	Enseignant :	Donc, il n'y a que les nutriments
268	Maëva :	Les nutriments qui vont rejoindre le sang.
269	Enseignant :	Qui vont rejoindre le sang, il n'y a pas de sang ici, là ?
270	Léa :	Bah, non.
271	Enseignant :	Et vous dites que le sang, il sort d'ici. C'est ça, Maëva ?
272	Maëva :	Oui
273	Enseignant :	Donc en fait, le cœur, c'est le lieu où se fait le mélange entre les nutriments, c'est ça, apportés par un tuyau jusqu'au cœur. Ca va ça, vous voyez comment ça, il y a d'abord un tuyau qui emmène les nutriments jusqu'au cœur et là se fait le mélange entre le sang et les nutriments, c'est ça ? Mélange qui est ensuite apporté jusqu'au muscle par un circuit. Alors est-ce c'est pareil que l'affiche d'avant, là ?
274	Maxime :	Bah, non, non.
275	Enseignant :	Alors qu'est-ce qui n'est pas pareil au niveau de la circulation ?
276	Maxime :	Parce que le sang pauvre et riche ils se mélangent pas, vu que c'est alterné. Ca fait aller retour en fait, donc il se mélangent jamais, là ils se mélangent, donc le cœur, donc, Monsieur, j'ai rien dit.
277	Enseignant :	Parce que vous n'avez pas fait deux parties dans le cœur, mais il y en a deux ou pas ?
278	Maëva :	Oui.
279	Enseignant :	Oui, il y en a deux, donc ça règle le truc. Le tri, votre tri, c'est où chez vous ?
280	Maëva :	Dans l'estomac.
281	Enseignant :	La transformation par les dents, c'est ça ce que vous avez dit ? Qui broient. Les sucs qui mettent liquide. Ok. Groupe suivant.
282	Cindy :	Nous on a dit que les aliments, ils passer d'abord dans l'œsophage pour arriver dans l'estomac et c'est, là ils sont dissous par les sucs gastriques, en fait. Et puis après, à la sortie de l'estomac, ils sont triés, les nutriments, enfin ce qui est bon pour les muscles et tout ça, ça passe dans le foie et le reste ça passe dans l'intestin. Et ce qui va dans le foie, en fait, c'est, ça passe par la paroi jusque dans les vaisseaux sanguins et puis c'est conduit jusqu'au muscle.
283	Christophe :	Bah, là, elle parle du foie.
284	Enseignant :	Vous parlez du foie, quelle est la, alors pourquoi est-ce que vous parlez du foie ? Pourquoi vous parlez du foie, vous étiez quatre, alors le foie, le foie il sert à quoi là ?
285	Cindy :	Il sert à, il reçoit les nutriments.
286	Jean-Luc :	Bah, il sert à dissoudre plus, pour ...

Annexe 3 – L script du débat – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

287	Enseignant :	Quand vous dites dissoudre, ça veut dire quoi, c'est ce que vous disiez tout à l'heure, ça vaut dire mettre liquide, c'est ça ? Transformer du solide en liquide. Pourquoi il faut que ça passe dans le foie avant d'aller dans le sang ?
288	Jean Luc :	Pour que se soit plus petit encore.
289	Enseignant :	Pour que ce soit plus petit encore.
290	Samuel :	Bah, oui.
291	Enseignant :	Est-ce que tout va dans le foie ?
292	Jean-Luc :	C'est séparé avant d'aller dans le foie, c'est séparé dans l'estomac.
293	Enseignant :	Il y a une première séparation au niveau de l'estomac.
294	Jean-Luc :	Ce qui est bon, ça va dans le foie, ce ...
295	Enseignant :	Dans l'estomac, il y a une première séparation, c'est ça ? Il y a une première séparation entre ce qui est bon et ce qui est mauvais. Et ensuite, ce qui est bon, ça va dans le foie, le reste s'est rejeté, c'est ça. Et ce qui est bon, si je comprends bien, s'est re-dissous une seconde fois au niveau du foie, oui ? Une fois que s'est dissous, qu'est-ce que cela devient ?
296	Jean-Luc :	Après, ça va dans les vaisseaux sanguins pour aller avec le sang.
297	Enseignant :	Pourquoi il faut que ce soit re-dissous une seconde fois ?
298	Jean-Luc :	Les choses ne sont pas bien dissoutes par l'estomac.
299	Cindy :	Il peut pas tout dissoudre.
300	Enseignant :	Il peut pas tout dissoudre. Bon, pourquoi il faut que ce soit tout dissous ?
301	Cindy :	Parce que si c'est pas assez dissous, ça peut pas aller dans la paroi.
302	Enseignant :	Donc, la dissolution, vous voyez, qu'elle sert, elle permet que cela puisse passer dans le sang. C'est ça. Au niveau du circuit du sang, montrez-nous le circuit du sang dans l'organisme.
302	Cindy :	Ca va du foie, jusque dans les muscles.
304	Enseignant :	Vous avez vu le circuit, qu'est-ce que vous en pensez, du circuit qu'ils proposent ?
305	Anne-Laure :	par contre, y a pas de y a pas de retour
306	Enseignant :	Il n'y a pas de retour, alors il y en a un ou il n'y en a pas ?
307	Samuel : (en montrant l'affiche)	On n'a pas marqué la suite, mais...
308	Enseignant :	Alors, montrez-nous, comment ça pourrait faire la suite ?
309	Cindy :	Ca fait un circuit dans le corps quoi.

310	Samuel :	En fait, y a un truc, un vaisseau sanguin qui récolte le sang qui n'a plus de nutriments et, en fait comme le cœur ça propulse le sang, ça fait un circuit.
311	Enseignant :	Ca fait un circuit ...
312	Samuel :	Fermé.
313	Enseignant :	Fermé, ça fait un circuit fermé. Ca fait un circuit fermé, il y a une partie, de l'autre côté, vous avez uniquement représenté les vaisseaux qui contiennent les nutriments. C'est ça.
314	Samuel :	Ouai.
315	Enseignant :	Vous n'avez pas mis les vaisseaux qui ne contiennent plus de nutriments. Bon, différences avec les schémas précédents, Maxime ?
316	Maxime :	Il y a le foie en plus.
317	Enseignant :	Il y a le foie en plus. Donc on a deux tris, c'est ça ? Deux tris, un dans l'estomac (bon/mauvais) et on en a un second dans le foie. Ce qui est suffisamment dissous, ça va dans le sang. Dans le sang, on a un circuit fermé, c'est ça Cindy ?
318	Cindy :	Oui.
319	Enseignant :	Un circuit fermé. Et sur la transformation, il y a une transformation dans le foie, une transformation plus importante dans le foie. Ok. Dernier groupe.
320	Maëva :	Il y a une autre différence, le passage des nutriments dans le sang, là ça passe par une paroi alors qu'avant, ça passait directement.
321	Enseignant :	Alors, oui, chose indique qu'il y a une différence au niveau du passage dans le sang, puisque là il se faisait par l'intermédiaire d'un tuyau qui emmenait vers le cœur les nutriments, alors qu'ici le passage se fait ...
322	Maëva :	A travers une paroi.
323	Enseignant :	A travers une paroi, c'est ça, Samuel ?
324	Samuel :	Oui, c'est ça.
325	Enseignant :	A travers une paroi. Ce qui expliquerait qu'il faille que cela soit, justement, très petit pour que ça puisse passer à travers.
326	Maxime :	Les aliments sont digérés dans l'estomac. Ils sont digérés une première fois dans l'estomac avec des sucs gastriques. Ils sont digérés plutôt grossièrement, en fait. Ensuite, ils passent dans l'intestin grêle, où là ils sont transformés à l'état liquide. Et là, le sang est en contact, la paroi de l'intestin grêle est très fine, donc le sang, il y a tout un réseau de vaisseaux sanguins autour de l'intestin grêle, ce qui permet que les nutriments qui sont dans l'aliment liquide puissent passer dans le sang. Donc, le sang bleu, c'est celui qui est pauvre en nutriments, un fois qu'il est passé tout autour de l'intestin grêle, il est riche en nutriments. Il repart dans le cœur, le cœur l'envoie dans le muscle et là, le muscle est lui aussi recouvert de capillaires et de vaisseaux sanguins. Donc là, les nutriments passent dans le muscle. Et donc le sang ressort du muscle pauvre, retourne dans le cœur et repart dans l'intestin grêle et ainsi de suite. Tous les aliments pauvres en nutriments repartent dans le gros intestin. En fait, une fois que les aliments ont été en contact avec le sang, ils sont pauvres en nutriments parce que le sang a récupéré tous les nutriments. Bah, donc ils sont rejetés. Et tout ça, c'est digéré par les sucs gastriques qui sont faits par le ...

Annexe 3 – L script du débat – Corpus 3^e – La nutrition chez l'Homme

327	Maëva	Est-ce que tout passe à travers a paroi ?
328	Maxime :	Bah, non, en fait, c'est que les nutriments qui sont dans les aliments.
329	Maëva :	Et ce qui ne passe pas, c'est rejeté.
330	Maxime :	C'est rejeté, oui. Et après, le sang pauvre, il est filtré par les reins, il est purifié.
331	Enseignant :	D'autres questions ?
332	Maxime :	On n'a pas représenté, non plus, les poumons qui apportent de l'oxygène au sang.
333	Enseignant :	Est-ce que vous avez des questions, là, sur ce modèle ?
324	Léa :	Est-ce que tous les nutriments sont utilisés ?
335	Enseignant :	Est-ce que tous les nutriments sont utilisés.
336	Maxime :	Bah, en fait, le sang ne puise que ce qu'il a besoin, mais en fait, je pense qu'il prend que ce qu'il a besoin mais il doit en prendre plus, et c'est trié par les, ça doit venir pareil que, ..., je sais pas comment dire, je pense qu'il doit sûrement en prendre en surplus, mais il est réutilisé, on dit qu'il est pauvre, mais il peut en rester dedans, parce que le muscle a que ce qu'il avait besoin, ça repart dans l'intestin grêle et le sang en reprend en surplus, mais ça fait ainsi de suite, il doit toujours en avoir des nutriments dans le sang.
337	Enseignant :	Bon, écarts, différences ?
338	Maëva :	C'est toujours le tri par rapport à la taille.
339	Enseignant :	Donc, là le tri, c'est par rapport à la taille,
340	Maxime :	Non, non
341	Enseignant :	A ce qui est liquide, à ce qui a réussi à être mis liquide, de ce qui ne l'a pas été, c'est ça ?
342	Maxime :	Moi, je pense que tout a été mis liquide.
343	Enseignant :	Tout est mis liquide ?
344	Maxime :	Tout a été mis liquide.
345	Enseignant :	Donc, tout peut passer ?
346	Maxime :	Bah, nan, que les nutriments contenus dans ce liquide, le liquide passe pas. C'est que les nutriments contenus dans les aliments. Tout est rendu liquide, mais c'est que les nutriments qui passent.
347	Enseignant :	Oui, Benoît.
348	Benoît :	Aussi, comme différence, les nutriments sont pris à l'intestin grêle.
349	Enseignant :	Oui, le lieu du tri est différent, c'est au niveau de l'intestin grêle que ça se passe. La transformation, c'est avec les sucs digestifs, ça c'est à peu près pareil, oui ? Et sur le circuit, c'est un circuit clos, alors, c'est un peu différent de celui d'avant ?
350	Maxime :	Le cœur est en deux parties en fait, y a une partie où le sang riche passe et une partie où le sang pauvre passe. Normalement c'est coupé en fait ;

351	Enseignant :	Deux parties du cœur, oui.
352	Maëva :	C'est comme celui d'avant, c'est par les parois que ça passe.
353	Enseignant :	Le tri se fait par une paroi, puisque vous dites ? La paroi est très fine.
354	Maxime :	Et elle est entourée de capillaires sanguins.
355	Enseignant :	Et elle est entourée de capillaires sanguins.
356	Maxime :	Ce qui permet que les nutriments puissent passer.
357	Enseignant :	Bon, alors qu'est-ce qui nous reste à faire, là, à la suite de ce débat, après la présentation de ces affiches.
358	Maëva :	Se mettre d'accord sur...
359	Enseignant :	chose, vous dites, qu'il faut qu'on se mette d'accord, sur ...
360	Maëva :	Bah, sur tout.
361	Enseignant :	Sur tout, sur le tri, la transformation, la distribution etc ...

Annexe 4. Le programme de première ES – Corpus 1^{re} ES – Les mécanismes de l'évolution

France : MÉN (2000). *BOÉN*, HS n° 7, du 31 août 2000, p. 137-144. Disponible sur Internet : <http://www.education.gouv.fr/bo/2000/hs7/vol5scientes.html> (consulté le septembre 2008).

PRÉSENTATION

Cet enseignement de biologie, nouveau pour la série ES, a pour objectif d'apporter des connaissances et une démarche, celle des raisonnements scientifiques, au travers de thèmes qui touchent à la responsabilité individuelle et collective face aux grands problèmes actuels de société. Il s'agit d'aborder différents sujets de santé humaine ou ayant trait à l'environnement et comportant des retombées en termes pratiques et socio-économiques, ainsi qu'en termes d'éthique personnelle et collective.

Les thèmes sont répartis en deux catégories : **trois thèmes obligatoires et un thème au choix.**

Les thèmes obligatoires constituent la première partie du programme. Ils concernent le fonctionnement du corps humain :

- un thème de physiologie intégrée est centré sur le fonctionnement des centres nerveux au travers d'un exemple, celui de la réponse à un stimulus nociceptif, qui permet d'aborder les interactions entre système nerveux et substances chimiques, conduisant à la notion de médicament et de drogue;
- un thème portant sur le contrôle neuro-hormonal de la reproduction et ses conséquences, au plan de la santé individuelle, de la régulation des naissances à la procréation médicalement assistée;
- un thème de génétique et biotechnologie qui poursuit la démarche initiée en troisième et approfondie en seconde. Il comporte des aspects allant du diagnostic prénatal jusqu'à une réflexion sur la médecine prédictive.

Un thème à choisir parmi les quatre propositions suivantes complète le programme.

Trois thèmes porteurs d'un questionnement sur l'environnement sont proposés, avec des approches qui vont de l'objet biologique aux considérations mondialistes. Ils s'inscrivent dans la perspective de développer les interactions avec l'enseignement de la géographie et de sciences économiques. Les thèmes au choix sont :

- un thème sur l'alimentation et l'environnement qui peut permettre une approche à la fois individuelle et globale. Il comporte trois parties : les besoins alimentaires (dans le prolongement du programme de troisième), les paramètres de la production qui doit permettre de satisfaire les besoins, les conséquences environnementales de certaines pratiques agricoles;
- un thème sur la gestion d'une ressource biologique - le bois - dont les propriétés physiques et chimiques justifient l'emploi comme matériau de l'industrie. Son exploitation a des conséquences en termes d'impact sur l'environnement (pollutions) et nécessite la gestion des écosystèmes. Ce dernier point prolonge certains aspects du programme de seconde ;
- un thème touchant à une ressource naturelle - l'eau - composant indispensable aux êtres vivants, et dont l'inégale répartition a des retombées économiques et sociales très importantes.

Un quatrième thème, plus conceptuel, porte sur l'évolution (notions de parenté et d'innovation génétique). Il complète en partie les approches évolutives développées antérieurement en seconde et permet de replacer l'émergence de l'homme dans le cadre de l'évolution des espèces. L'ordre des thèmes ci-dessus ne préjuge en rien de leur mise en place annuelle qui est laissée à l'appréciation de l'enseignant, de même que la durée exacte de chaque thème. Cependant, la durée moyenne prévue est de 7 à 8 semaines par thème.

Les pratiques pédagogiques associées à cet enseignement doivent s'adapter au partage horaire entre les activités de cours (1h hebdomadaire) et les activités de travaux pratiques (qui équivalent à 1/2h par semaine en classe à effectif réduit). Ces activités s'appuieront, partout où cela sera possible, sur les techniques de l'information et de la communication (TIC).

L'ensemble de ces activités fait l'objet d'une évaluation.

ORGANISATION GÉNÉRALE

Trois thèmes obligatoires de 7 à 8 semaines chacun (durée indicative : 7 à 8 heures de cours et 3 heures d'activités pratiques)	Un thème au choix de 7 à 8 semaines (durée indicative : 7 à 8 heures de cours et 3 heures d'activités pratiques)
Communication nerveuse	Alimentation, production alimentaire, environnement
Du génotype au phénotype, applications biotechnologiques	Une ressource naturelle : le bois
Procréation	Une ressource indispensable : l'eau
	Place de l'homme dans l'évolution

PLACE DE L'HOMME DANS L'ÉVOLUTION

Le programme de la classe de seconde a permis de mettre en place le concept d'unité du vivant. Ce thème a donc pour objectif de montrer que la parenté entre les êtres vivants est le fruit d'une longue histoire jalonnée d'innovations génétiques, issues de restructurations des génomes. Il permet de souligner l'antériorité de ces innovations génétiques aléatoires par rapport à l'influence du milieu sur l'évolution, en montrant la contingence entre évolution et sélection naturelle. Parmi ces innovations, certaines ont conduit à l'émergence des hominidés au sein desquels se place l'homme dont on soulignera les spécificités culturelles. Dans le cadre de l'étude critique de textes scientifiques fondateurs de théories de l'évolution, ce thème peut trouver des attaches avec l'enseignement ultérieur de philosophie en classe terminale.

ACTIVITÉS ENVISAGEABLES	NOTIONS ET CONTENUS
<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'un logiciel de phylogénie et de pièces anatomiques pour établir les relations de parenté entre les vertébrés. Étude d'arbres phylogénétiques. - Établissement du calendrier simplifié de l'évolution des êtres vivants au cours du temps. - Utilisation d'un logiciel d'analyse génique et de la banque de données sur les gènes des primates pour établir l'apparement homme- chimpanzé. - Utilisation de logiciels et de banques de données pour comparer les séquences de gènes et mettre en évidence le polymorphisme des gènes (antitrypsine, HLA). - Comparaison de gènes, familles de gènes (globines, gènes homéotiques...). - Comparaison des squelettes des australopithèques, de l'homme et du chimpanzé, en rapport avec la bipédie. - Analyse critique de divers scénarios relatifs à la bipédie. - Interprétation de données expérimentales en rapport avec la notion de sélection naturelle (phalène du bouleau). - Critique scientifique de textes d'inspiration ou d'expression lamarckienne. - Comparaison de crânes, d'endocrânes, de pelvis d'hominidés. - Observation d'objets caractéristiques des cultures des hominidés. 	<p>À la recherche de "l'ancêtre commun" Chaque espèce est issue d'une longue suite de générations au cours de laquelle les caractères qui la définissent sont apparus à différentes périodes dans l'histoire de la terre. Ainsi, l'homme est un eucaryote, un vertébré, un amniote, un mammifère, un primate, un hominoïde et un hominidé. Par la prise en compte des caractères homologues et de l'état ancestral ou dérivé de ces caractères, on peut construire des relations de parenté entre les êtres vivants. Les données moléculaires confortent l'idée que c'est avec le chimpanzé que l'homme partage l'ancêtre commun le plus récent. Cet ancêtre commun n'est pas un chimpanzé ni un homme. Il devait posséder des caractères appartenant à la fois à l'homme et au chimpanzé. Parmi ces caractères figurent un répertoire locomoteur incluant une certaine forme de bipédie et l'usage d'outils.</p> <p>Les mécanismes de l'évolution Les génomes des espèces sont des archives. Ils permettent d'imaginer les événements génétiques moléculaires de l'évolution qui ont conduit à des innovations, à leur diversification et à leur complexification (familles multigéniques, gènes chimères...). Ces innovations génétiques sont aléatoires; leur nature ne dépend pas des caractéristiques du milieu. L'évolution des génomes résulte d'un bricolage moléculaire qui a conduit à faire du neuf avec du vieux. Ainsi, l'acquisition de la bipédie dans la lignée humaine ne fait pas intervenir une explication finaliste. À l'origine de la bipédie se trouvent des innovations génétiques. Elles ont dû affecter les gènes du développement. Les conditions de l'environnement peuvent jouer le rôle de crible vis-à-vis des nouveautés phénotypiques engendrées par les innovations génétiques (sélection naturelle). De ce fait, l'évolution dans la lignée humaine comme dans les autres lignées peut être dépendante de changements dans l'environnement. Elle est contingente.</p> <p>Émergence du genre <i>Homo</i> Diverses caractéristiques morpho-anatomiques et comportementales contribuent à définir le genre <i>Homo</i> (volume et morphologie crânienne, bipédie, fabrication d'outils, vie sociale et culturelle). La découverte de traces d'activité et de restes fossiles fait remonter de plus en plus dans le temps, l'apparition du genre <i>Homo</i>. L'analyse génétique des populations humaines suggère qu'elles dérivent toutes d'une seule population d'<i>Homo sapiens</i>. Les données fossiles indiquent que celle-ci a pour origine géographique le Proche-Orient ou l'Afrique.</p>

Annexe 5. Deux évaluations diagnostiques – Corpus 1^{re} ES – Les mécanismes de l'évolution

Avant
Mlle
Ceballos

Evaluation diagnostique : rédiger un texte, travail individuel. (30 min)

Quels sont les causes de l'évolution des espèces vivantes ?

Comment expliquer que les espèces d'hier ne soient plus celles d'aujourd'hui ?

Donne tes explications de ce qui peut se produire, ce qui peut arriver,

- à l'échelle d'un individu d'une espèce,
- à l'échelle d'une population d'individu d'une même espèce.

A l'origine il me semble qu'il n'y avait sur Terre que des bactéries. Puis qu'il n'y a eu que des formes de vie aquatique qui après quelques millions d'années serait sortie de l'eau pour une raison inconnue qui aurait continué d'évoluer en parallèle de celle de la mer. Au fil du temps ces espèces (dinosaures etc...) auraient disparu pour laisser la place aux hominidés qui sont à l'origine de notre espèce. Il y a une théorie selon laquelle les dinosaures seraient morts à cause d'une météorite qui aurait produit en explosant un gaz toxique qui les aurait tués ne laissant que quelques formes de vie qui se seraient adaptées pour survivre. Ce qui pourrait expliquer certaines évolutions. De plus, les espèces ont évolué en fonction de leur environnement et de leur besoin comme les félins qui ayant besoin d'aller plus vite on peu à peu changer dans cette optique et ne s'appuie que sur la pointe des pieds et est valable pour d'autres espèces évidemment. Les besoins étant différents et le milieu étant différent les espèces d'hier n'auraient pu être pas survécu sans s'adapter.

So. Epallier

Evaluation diagnostique : rédiger un texte, travail individuel. (30 min)

Quels sont les causes de l'évolution des espèces vivantes ?

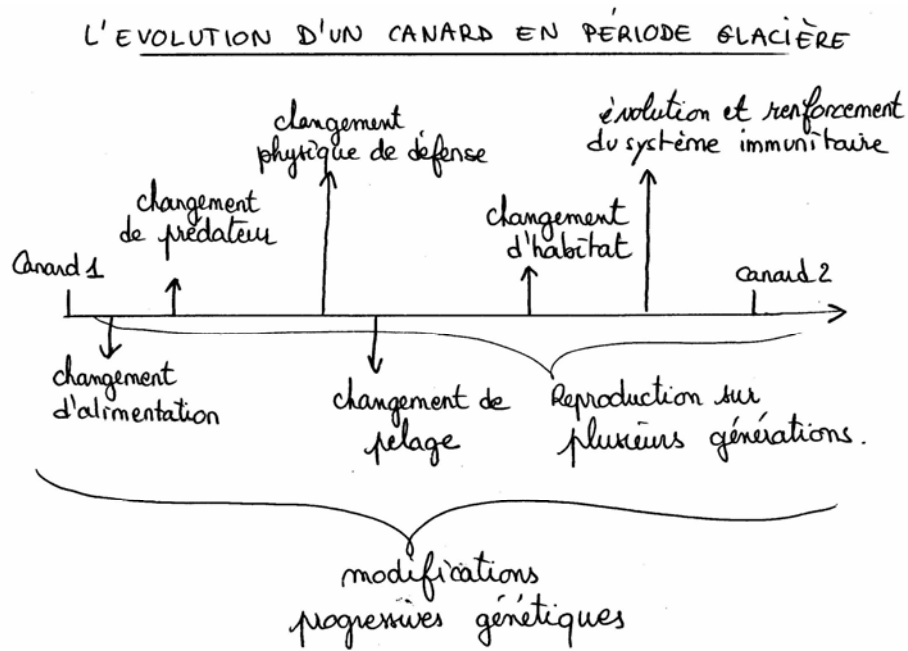
Comment expliquer que les espèces d'hier ne soient plus celles d'aujourd'hui ?

Donne tes explications de ce qui peut se produire, ce qui peut arriver,

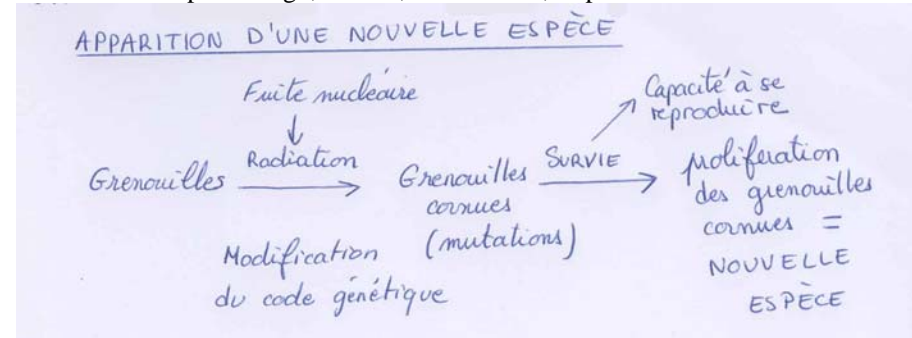
- à l'échelle d'un individu d'une espèce,
- à l'échelle d'une population d'individu d'une même espèce.

Je pense que les espèces vivantes ne sont que des formes évoluées d'anciennes espèces existantes. Je pense qu'elles évoluent grâce au changement de leurs organismes. Par exemple si une balaie se retrouve dans un marécage de 30 m², elle aura tellement peu de place que au fil des générations, elle va se transformer pour devenir plus féconde. Ça doit se faire au niveau cellulaire, soit par le regroupement ou la destruction de cellule. Si ce que j'ai dit est exact, on peut dire que les espèces changent en fonction de l'environnement dans lequel elles vivent. Au niveau d'une espèce totale, je pense que avec l'évolution des écosystèmes due au période glaciaire et au migration, elle s'adapte par le même biais qu'un seul individus en s'adaptant. On peut donc penser que la diversité des espèces varie en fonction de l'environnement, des périodes de température et des changements cellulaires en conséquence.

Annexe 6. Groupe de Lara, Léo, Romain et Quentin



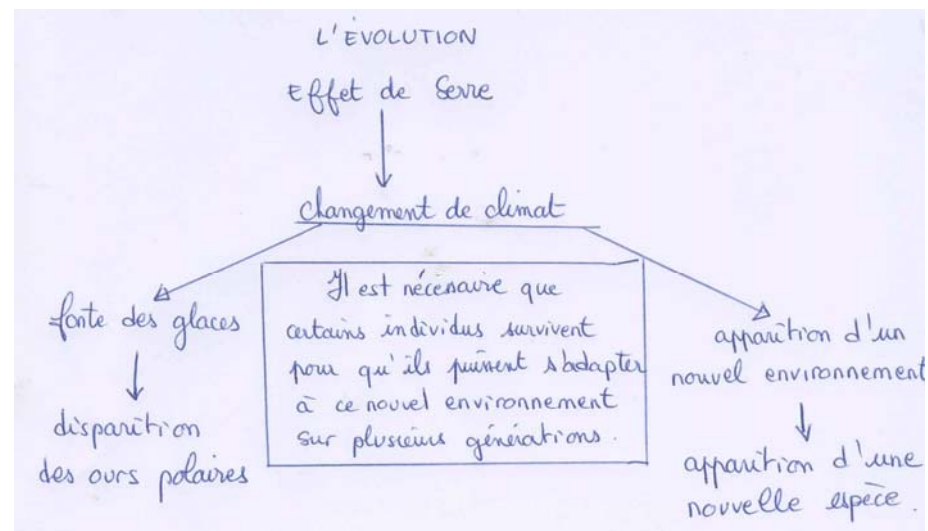
Annexe 6. Groupe de Hugo, Aurore, Gwendoline, Raphaël



Annexe 6. Groupe de Louise, Lucille et Jonathan

Le Mesohyppus
 ≈ taille d'un chien - 4 griffes
 ↓
 C'est une proie qui pour se défendre doit fuir
 ↓
 Les prédateurs sont de plus en plus grands.
 Il grandit, ses 4 griffes disparaissent (il n'en a plus besoin) Elles deviennent des sabots pour un meilleur équilibre, plus d'élan.
 ↳ Cheval.

Annexe 6 Groupe de Camille, Géraldine et Alexandre



Annexe 7. Script débat – Corpus 1^{re} ES – Les mécanismes de l'évolution

		Présentation par le groupe 1 : espèce canard (annexe 3.1)
1	Prof	Donc on s'interroge bien sur qu'est ce qui peut amener au cours du temps à l'apparition d'une nouvelle espèce // qu'est ce que vous pensez de leur explication / vous pouvez émettre des critiques positives ou négatives ou des questions
2	Louise	C'est bien c'est logique
3	Lara	C'est par rapport à la reproduction qu'il y a des changements génétiques / au fur et à mesure que les espèces s'adaptent // enfin //
4	Prof	C'est-à-dire // les changements génétiques ont lieu quand par rapport aux modifications dans le comportement // qu'est ce qui précède // est ce que ça arrive après ou avant // tu me parles de modifications génétiques
5	Lara	C'est quand le petit canard sort de l'œuf / ça se passe à l'intérieur de l'œuf
6	Jonathan	Les transformations génétiques elles se passent avec l'environnement //
7	Jonathan	C'est lié à la disparition de l'espèce le canard 1 disparaît au profit du canard 2 //
8	Prof	Donc le canard 1 se transforme en canard 2 // pour Nathan on n'aura plus à ce moment là d'individus de l'espèce canard 1
9	Quentin	Oui
10	Louise	S'ils ont subi le même changement de l'environnement oui // mais si jamais eux ils n'ont pas connu la période glaciaire ils vont rester comme un canard / là à mon avis entre canard 1 et canard 2 il y a plein d'autres canards avant d'arriver justement au canard 2 // tu ne peux pas mettre un canard qui est comme ça / ça se fait petit à petit // enfin // il y a plusieurs générations avant d'arriver à un canard qui va se modifier
11	Prof	Vous êtes d'accord avec ce qui vient d'être dit // donc ce canard 1 se transforme en canard 2 de manière progressive et du fait des changements de l'environnement / c'est ça // alors maintenant Lara nous parlait des modifications génétiques comment elles apparaissent / quelle est votre idée là-dessus
12	Léo	Pour moi les modifications génétiques ça se fait au moment de la reproduction / c'est pour palier justement les problèmes au niveau du froid de l'alimentation / je pense qu'il y a peut être une petite volonté de l'animal qui fait que forcément après il y a une réaction / c'est vraiment sous la nécessité devant un climat
13	Prof	Les modifications génétiques se réalisent parce qu'il y a un besoin une utilité une nécessité à répondre aux conditions de l'environnement / et qu'elle serait le fait de la volonté de l'individu
14	Jonathan	C'est plus une adaptation du corps / comme nous avec l'humain // c'est un peu la même chose par rapport au bronzage ou au métissage // c'est comme quelqu'un qui vivrait dans un pays chaud / il va avoir son corps qui va peut être s'adapter // même pour le soleil et tout ça // sous le soleil il va être bronzé
15	Quentin	Comme ceux qui naissent en Afrique aussi ils sont habitués au soleil
16	Prof	Est-ce qu'il ne peut pas y avoir deux choses distinctes / le fait que si l'on a une peau blanche et qu'on s'expose au soleil on peut bronzer / est-ce la même chose qu'une personne qui naît de couleur noire // est-ce que vous mettez ces choses sur le même plan // et sinon quelles sont les différences
17	Quentin	// Oui c'est la même chose
18	Lara	Si il y a plusieurs générations en Afrique sous 40°C ou 50°C après des générations si ils ont la peau noire c'est parce que

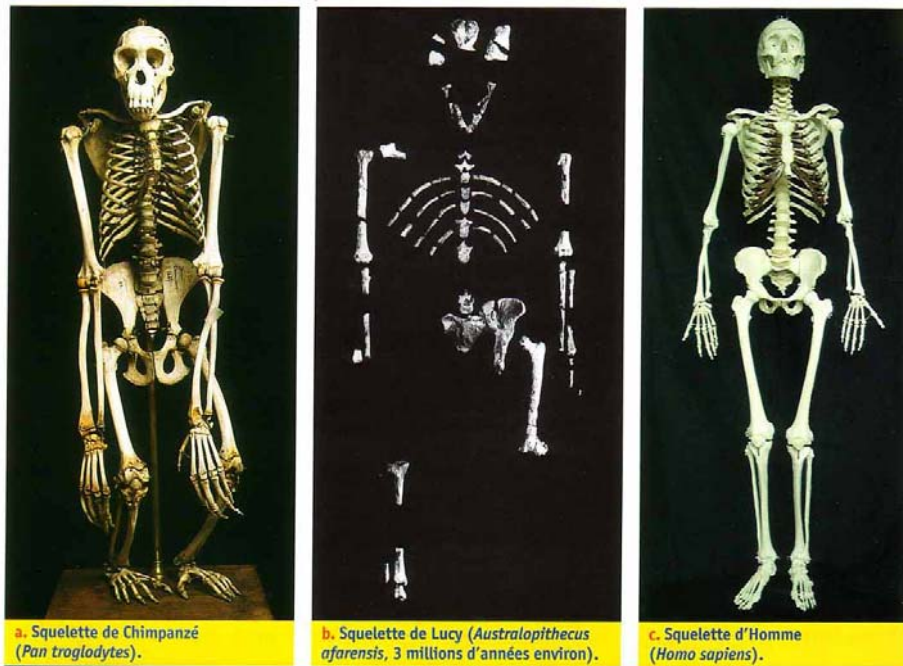
		leur peau est plus épaisse que la notre pour se protéger du soleil et c'est pareil pour les cheveux au bout d'un certain temps / l'être humain se transforme par rapport à ces conditions / par rapport aux conditions climatiques qui l'entourent // et à la fin ça fait des petits enfants qui sont tous noirs
19	Prof	Bon alors j'apporte une précision / la couleur de la peau n'est pas due à une épaisseur différente c'est dû au fait que dans les cellules de la peau // (Schéma au tableau + explication sur la production de mélanine)
20	Prof	Une phrase qui peut faire réagir un couple de couleur blanche qui souhaite avoir un enfant métisse décide d'aller concevoir un enfant dans les tropiques
21	Camille	C'est dans les gènes // c'est des gènes qu'ils transmettent à l'enfant / si les parents ont des gènes avec pas beaucoup de mélanine // bah l'enfant il en aura pas beaucoup il va peut être en avoir un peu en grandissant mais il ne sera jamais noir
22	Raphaël	Ça ne se joue pas au bout de qu'une génération / c'est trop rapide // s'ils vont sous les tropiques juste le temps de faire leur petit //
23	Louise	À la limite s'ils seraient nés là-bas sous les tropiques ils auraient quand même eu par rapport à leur // à leur code génétique ils se seraient aussi adaptés au soleil / si ça fait très longtemps qu'ils vivent sous les tropiques leur enfant aura peut être des caractéristiques un peu plus évoluées //
24	Prof	Est-ce que c'est à l'échelle d'une vie humaine
25	Nathan	Parce qu'en fait il faut qu'il y ait déjà // ça marche sur des générations et pas seulement sur 2 ou 3 / ça marche sur des centaines voire des milliers
26	Prof	Est-ce que vous pouvez seulement raisonner à l'échelle de 2 individus
27	Nathan	Non c'est pour ça par exemple que pour les insectes / on sait qu'ils peuvent évoluer très vite // parce que le taux de renouvellement est / sur une vie humaine / ça doit être plusieurs millions // donc on peut voir // xxx c'est pour ça que ça marche
28	Prof	Vous avez entendu
29	Aurore : <	Ça dépend aussi des parents du couple blanc parce que s'ils ont des ancêtres noirs ils peuvent aussi avoir un enfant noir même s'ils sont tous les 2 blancs
30	Jonathan	Je réfléchissais à un exemple que j'avais dans la tête
31	Prof	Je reprends / il y a une différence entre les caractères qui peuvent être acquis au cours de la vie par exemple le bronzage et si les personnes retournent dans une zone où il y a peu de soleil / ils perdent ce bronzage donc il y a des caractères acquis et des caractères innés // ce que vous semblez dire c'est que l'environnement peut modifier ces caractères innés // Est-ce cela que tout le monde pense
32	La classe	Oui
33	Prof	Je ne suis pas sûr que tout le monde pense ça et je vais demander au deuxième groupe de présenter son affiche
		<i>Présentation par le groupe 2 : Apparition d'une espèce de grenouille cornue (annexe 3.2.) (20 min 43)</i>
34	Prof	Vous pouvez nous présenter votre scénario qui porte sur l'apparition d'une nouvelle espèce de grenouilles cornues
35	Raphaël	D'abord des grenouilles de bases suite à une fuite nucléaire on a modification du code génétique de la grenouille / et je pense que ça peut aussi être fait par autre chose que la fuite nucléaire ça c'est à déterminer // et donc après apparition de grenouilles cornues parce que mutation de gènes // euh si l'espèce survie et peut se reproduire et tout ça donne une

		apparition de grenouilles cornues partout // ce qui est important à mon avis pour que l'espèce continue à survivre c'est la survie / faut qu'elle puisse continuer à se reproduire
36	Prof	Est-ce que le fait d'avoir des cornes l'aide à survivre dans votre imaginaire
37	Raphaël	Ben plus que si elle n'avait pas de cornes / je pense ouhai //
38		Rire général
39	Raphaël	Ne serait-ce que pour se défendre être cornu c'est quand même bien
40		Rires
41	Prof	Est-ce que ça aurait pu être possible de voir apparaître des grenouilles cornues
42	Camille	Il suffit qu'il y ait une modification dans son environnement qui fait que les gènes se modifient et qu'il y ait des cornes qui apparaissent / mais faut que ce soit un évènement spécial dans son environnement qui change et qui la force à s'adapter et l'adaptation se serait d'avoir des cornes
43	Raphaël	Mais là on a mis des cornes mais on aurait pu mettre un cheval à trois yeux
44	Prof	Si les cornes n'apportaient pas d'avantages particulier à ces grenouille / est-ce qu'elles auraient pu apparaître
45	Léo	Y'a pleins de trucs qui servent à rien sur les animaux / même nous y'a des trucs qui nous servent à rien
46	Raphaël	Ouhais / les sourcils ça sert à quoi
47	Léo	Des fois c'est par nécessité et des fois c'est parce que // comme ça quoi
48	Prof	Par exemple chez l'être humain on a des dents de sagesse //
49	Lara	Moi j'en ai plus
50	Prof	La plupart en ont mais elles ne nous apportent pas d'avantages particuliers / Léo peux tu reformuler ce que tu disais ensuite je donne la parole à Louise
51	Léo	Ben // j'sais plus // j'crois que j'ai dis que tout n'était pas forcément nécessaire ça dépendait / des fois c'est nécessaire des fois ça ne l'est pas
52	Louise	Ben c'est par rapport aux cornes / logiquement les cornes en générale c'est fait pour se défendre ou attaquer / les grenouilles elles en ont pas vraiment besoin donc à la limite dans l'évolution les cornes elles les perdraient / à moins qu'elles aient un prédateur redoutable avec qui elles auraient besoin de cornes
53	Prof	On connaît pourtant des espèces d'herbivores ou les mâles possèdent des cornes et pas les femelles
54	Gwenoline	C'est des formes de mutations quelconques
55	Prof	Est-ce que tu peux reformuler ton idée
56	Gwenoline	On aurait pu mettre autre chose sur la grenouille une couleur // c'est juste une idée comme ça après on n'a pas essayé de savoir si elles se défendraient mieux
57	Raphaël	Moi je pense que tout ce qu'il y a enfin tout ce qu'on a nous ça sert forcément à quelque chose sinon ça aurait forcément disparu / à force // les sourcils //
58	Quentin	Ça empêche la poussière
59	Raphaël	Ca empêche la poussière de rentrer dans les yeux // par exemple la taille aussi elle change au fil des ans
60		Brouhaha, rires
61	Prof	Pourtant il existe des opérations où on réalise l'ablation de certains organes comme par exemple l'appendice / sans que cela pose problème pour la personne
62	Lara	Ça sert à rien l'appendice

63		Brouhaha
64	Prof	Les dents de sagesse par exemple ça a son utilité particulièrement
65	Aurore	Ça avait son utilité avant parce que on avait besoin d'une forte mâchoire / mais maintenant notre mâchoire s'est adapté ce qui fait qu'elles servent plus à rien au pire ça détériore notre dentition
66	Camille	Notre alimentation elle a changé / ce qui fait qu'on s'en sert plus
67	Prof	Est-ce qu'on peut être sûr qu'elles vont disparaître
68	Raphaël	Ben non elles vont pas disparaître parce qu'on aura toujours besoin de mâcher // mais par exemple avant tous les humains ils avaient beaucoup plus de poils et vu qu'on habite dans des foyers et qu'on a appris à se vêtir on n'a plus besoin de notre pelage
69	Lara	Moi par exemple des dents de sagesse j'en ai pas du tout // et comme ce qu'on mange c'est de plus en plus mou et ben notre évolution fera qu'on aura moins de dents
70	
71	Prof	Je pose une question / est-ce qu'une mutation peut arriver spontanément au hasard comme ça sans qu'il y ait de lien avec l'environnement
72	Louise	À part le nucléaire non
73	Aurore	À part le nucléaire je pense que ça peut arriver au hasard parce que le corps n'a pas le temps de s'adapter c'est plus un changement brusque
74	Louise	Tu peux répéter ta question
75	Prof	Ma question est de savoir est-ce que pour vous c'est envisageable de penser que les mutations dans le matériel génétique pourraient être totalement hasardeuses
76	Louise	Pour moi non / à part par le nucléaire sinon c'est par nécessité
77	Lara	Ben par exemple y'a des maladies génétiques qui viennent comme ça et c'est pas par besoin ni rien / même des déformations physiques / y'a des enfants qui naissent avec 4 doigts et c'est pas par nécessité ou par besoin / c'est parce que c'est comme ça
78	Prof	Alors pour toi ça peut arriver au hasard
79	Lara	Ben ouais
		...
80	Prof	Le fait de dire qu'une mutation entraîne forcément un avantage par rapport au milieu de vie peut être remis en cause par l'argumentation de Lara // ça peut aussi apporter des inconvénients / êtes-vous toujours aussi fermes pour dire que ces mutations sont forcément provoquées par l'environnement, par les conditions du milieu
81	Gwenoline	Y peut pas y'avoir des chocs émotionnels des trucs graves et sur le cerveau ça peut provoquer des choses et après c'est sur notre organisme
82	Raphaële	Ouais mais c'est pas le corps humain // c'est quelque chose d'autre
83	Louise	Par rapport à ce que disait Lara / une maladie génétique tu l'as pas au cours de ta vie tu l'as dès la naissance donc c'est pas provoquée c'est dès la naissance
	
84	Prof	Qu'est-ce qu'on pourrait formuler comme questionnements
85	Quentin	Oui mais les inconvénients ils sont provoqués par les des éléments pas naturels / si on parle du nucléaire

86	Prof	Pourtant certaines maladies sont dites héréditaires
87	Louise	C'est quelque chose que t'as eu dès ta naissance pas au cours de ta vie
88	Prof	Donc c'est inné // alors que tous ce qui confère un avantage ça va forcément être acquis au cours de la vie / c'est ça
89	Quentin	Tu peux répéter
90	Raphaël	À mon avis / non pas seulement les avantages //
91	Nathan	Je vois pas trop par exemple parce que les pygmées il sont tous petits et dans la forêt je vois pas l'avantage
92	Louise	Ben s'ils peuvent mieux se cacher / je sais pas si ce sont leur caractéristiques propre ou si c'est leur matériel génétique
93	
94	Prof	Bon est-ce qu'on peut partir sur un autre groupe / voir si d'autres questionnements émergent
95		Présentation travail sur lignée du cheval (annexe 3.3.)
96	Louise	Le mésohyppus c'est l'ancêtre du cheval / il était petit et avait 4 griffes c'est une proie qui pour se défendre doit fuir / en fait pour mieux courir il s'est adapté physiquement ses prédateurs étaient de plus en plus grands et courraient de plus en plus vite et lui il était petit et courait de pas très vite // donc il a grandi et ses griffes se sont transformées en sabots pour une meilleure adhésion au sol, et plus de rapidité // et il grandit pour prendre plus de force en fait et ça donne un cheval
97	Prof	Des réactions
98	Léo	La génétique elle intervient pas là
99	Plusieurs élèves	Ben si
100	Louise	Comment tu fais cette évolution là mise à part génétiquement
101	Léo	Mais c'est pas écrit
102	Louise	C'est pas écrit mais c'est supposé
103	Aurore	Je trouve que ça reprends un peu le premier schéma sur l'évolution progressive selon les conditions de l'environnement
104	Gwenoline	C'est vraiment prouvé ce qui s'est passé là en fait
105	Nathan	Tas déjà vu une photo du mésohippus
106	Prof	Je ne valide par leur modèle explicatif // je peux préciser que mésohyppus est un fossile qu'on a retrouvé qui montre des caractéristiques qu'on observe chez le cheval actuel / notamment avec un troisième doigt plus développé
107	Louise	Le fait qu'il court ça a du aplatis à moitié ses griffes et en fait y'a une griffe qui se transforme en sabot et les autres griffes en fait sont dans la jambe
108		//
109	Nathan	C'est les os maintenant // ce qu'on peut voir sur la jambe d'un cheval c'est que ça ressemble plus ou moins à une patte / c'est bizarre car ce prolongement comme ça on ne retrouve pas ça chez beaucoup d'animaux // et euh c'est vrai que ça pourrait expliquer ça
110	Louise	Lucille elle m'avait expliqué et ça coïncidait bien

Annexe 8. Caractères plan d'organisation et volume crânien



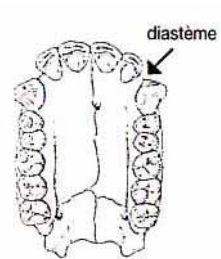
Volume crânien

380 à 440 cm³

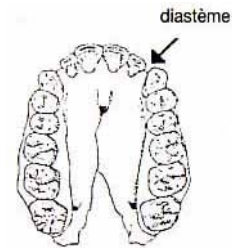
500 cm³

1 300 à 1 500 cm³

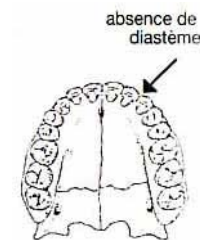
Annexe 8. : Caractères forme de la mâchoire inférieure et épaisseur de l'émail



Forme en U
Dent à émail mince



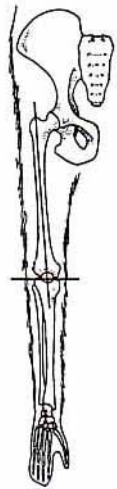
Forme en U
Dent à émail épais



Forme en V
Dent à émail épais

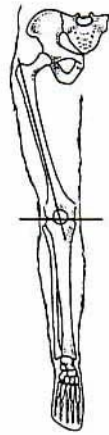
Annexe 8 : Caractères mode de locomotion

Chimpanzé



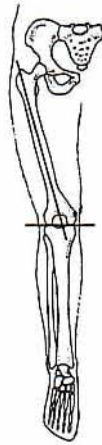
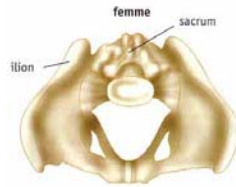
Quadripédie

Lucy



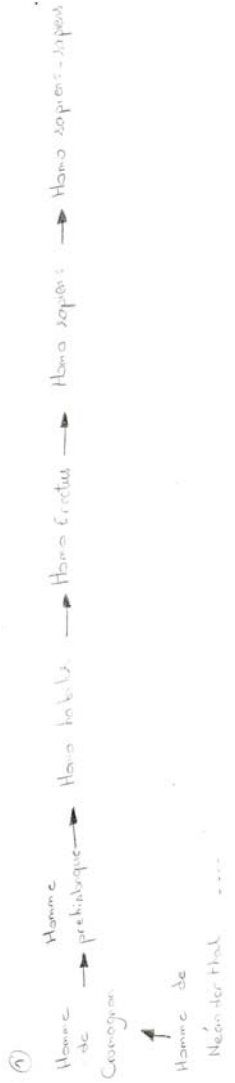
Bipédie

Homme moderne



Bipédie

Annexe 9 – Groupe 1 : Céline P

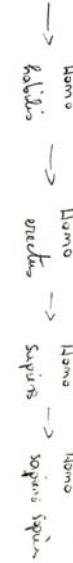


- ②
- déplacement bipède (marche)
 - éoluit taille du crâne et langue
 - éoluit mode de chasse (objets...)
 - migration pour territoire
 - adaptation au milieu

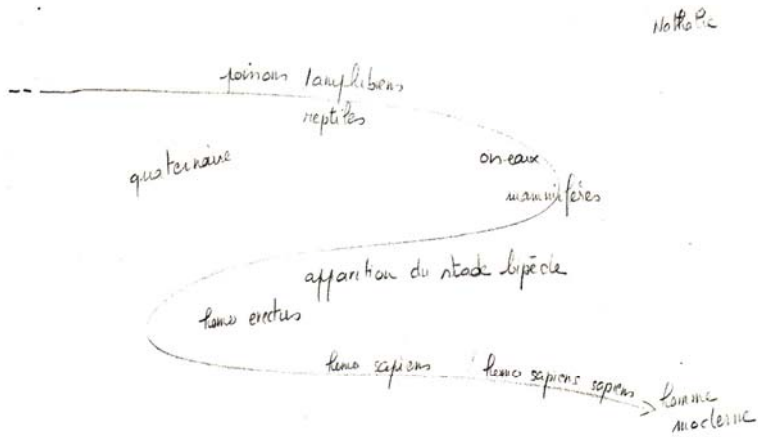
Céline P.

Annexe 9 - Groupe 1 : Elisabeth

Adaptation au milieu



Annexe 9 - Groupe 1 : Nathalie



1) Vie aquatique : poissons
 • amphibiens

2) Vie terrestre - production photosynthétique par plantes qui permettent vie hors de l'eau
 • reptiles
 • oiseaux
 • mammifères

→ chgt climatique brutal → modifiait vie terrestre - disparition de certaines espèces

Annexe 9 - Groupe 1 : Peggy

1° / Homme moderne et son descendant du singe lorsque celui-ci s'est développé, sa posture a évolué (son bras vertical, "debout"), sa posture a diminué, son crâne et son squelette se sont développés

2°

MORICE Peggy

Annexe 9 - Groupe 1 : Pierre

- bactérie
- ...?
- australopithecus.
- homme de neanderthal.
- homosapiens
- homosapiens - supiens.
- homme.

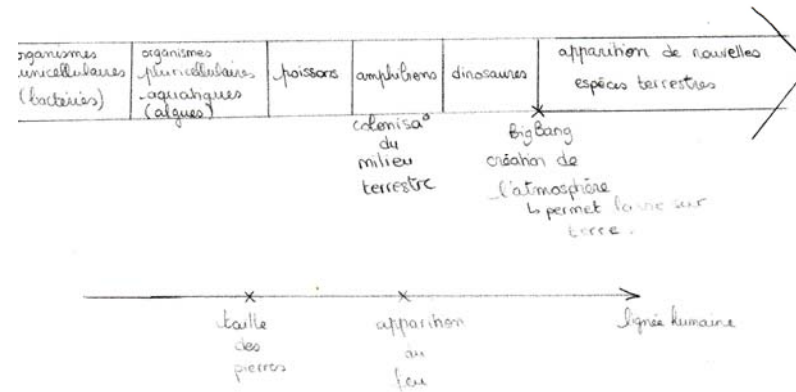
Pierre PE1E

Mécanisme:

- ↳ isolat° génétique.
- ↳ les niches: permettent ou non l'évolution d'une espèce.
- ↳ manière de se nourrir: - cueillette - chasse.
- élevage - culture.
- ↳ manière de vivre: - sédentaire / "migrant"
- ↳ le feu - les outils

Annexe 9 - Groupe 2 : Floriane

BILLY Floriane



Annexe 9 - Groupe 2 : – Tiphaine

1) L'homme ne descend pas du singe, c'est son cousin. Léane Tiphaine

homo erectus (se tient debout) → homo habilis (commence à construire des outils) → homo sapiens (homme d'aujourd'hui) → = devient

Ancêtres de l'homme vivaient ds l'eau → mammifère terrestre.

homo erectus : se tient sur pattes arrière : permet d'avoir une meilleure vision des prédateurs

2) Evolue : grâce aux gènes.
+ besoins liés à l'environnement

les gènes peuvent être modifiés par l'environnement
→ mutations génétiques

Annexe 9 - Groupe 2 : - Mélissa

Hingan Mélissa

1) l'évolution du singe :

- besoin de ses 4 membres pour marcher

puis par l'évolution :

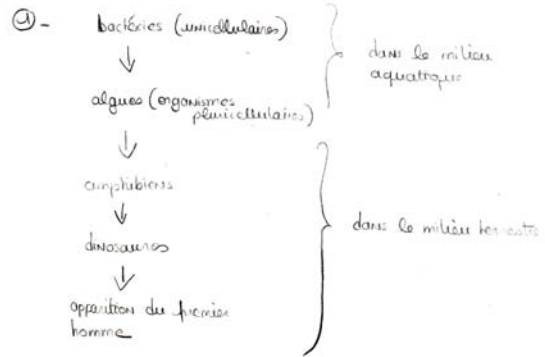
- modification du génotype => de multiples modifications au cours du temps (plusieurs millions d'années)
- ex: - modification du squelette → position verticale pour marcher.
- modifications cérébrales
- ...

=> une grande diversité d'espèces qui a permis la place à l'Homme.

2) => la modification du matériel génétique des différentes espèces.

Annexe 9 - Groupe 3 : Anne-Sophie

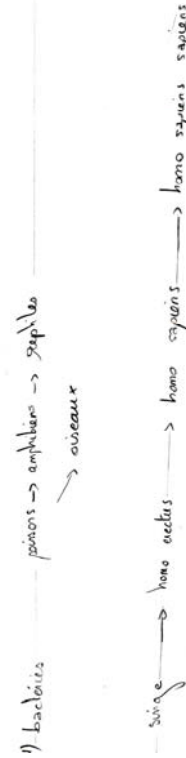
HAMARD
Anne-Sophie



② -

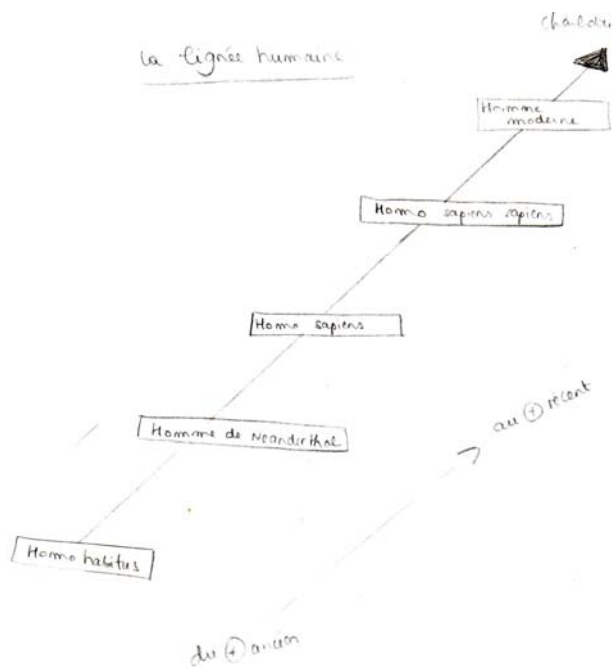
Annexe 9 - Groupe 3 : C éline

Huize Céline



2) mutations génétiques
changement de climat

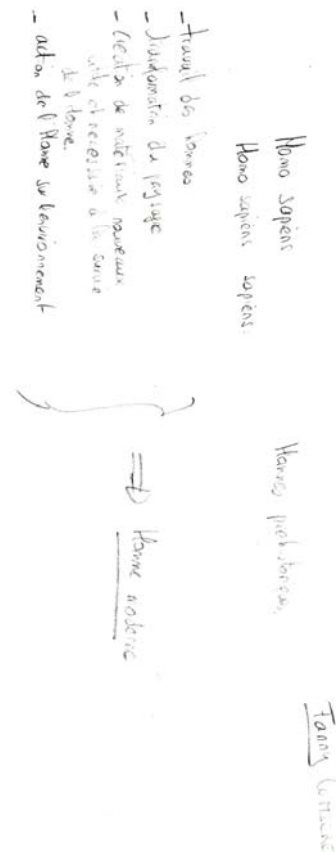
Annexe 9 - Groupe 3 : Charlotte



Éléments qui permettent d'expliquer l'apparition de l'homme moderne :

- * le mode de locomotion : progressivement, l'homme est devenu bipède (se déplacer marchant sur ses 2 membres inférieurs). Avant, se déplacer à 4 pattes (position quadrupédique → posture verticale)
- * l'habitat < outil :
 - Les techniques sont devenues de ④ en ⑤ perfectionnées (développement du feu, etc)
 - Adaptation au milieu (il est passé de nomade à sedentaire)
- * Caractéristiques physiques (machines) :
 - ↑ habitat fixe

Annexe 9 - Groupe 3 :- Fanny



Fanny LUTHE

Annexe 9 - Groupe 3 : Pauline



→ : évolution au fil des siècles
 La classification n'est pas fixe, et aujourd'hui, la découverte d'autres espèces humaines ne permet pas une évolution logique et claire à l'espèce humaine.

2. Hypothèses :
- adaptation des descendants de l'homme au milieu de vie (changements de climat...)
 - découverte de différents moyens pour vivre (feu, chasse, pêche, ...)
 - passage d'une forme proche du singe à une forme humaine (redressement de la colonne vertébrale, perte des poils, ...)
 - création des arts (peintures, gravures, ... dans grottes)

TREBERT Pauline

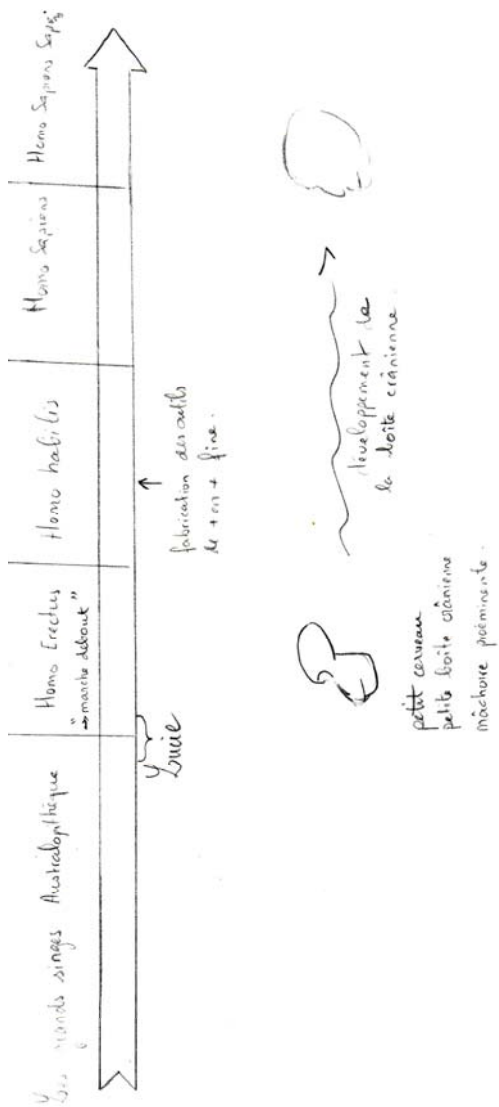
PE1 E

Annexe 9 - Groupe 4 : David



2. apparition de techniques nouvelles (feu, taille des pierres).
 découverte de matériaux → outils de chasse et pierre

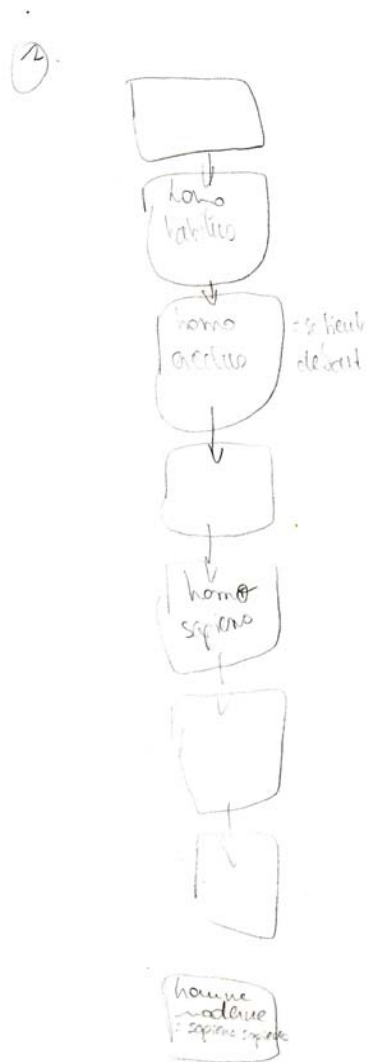
Annexe 9 - Groupe 3 : - Julien



L'évolution se fait au niveau génétique. L'homme "s'adapte" à son environnement au fur et à mesure des millénaires par mutations génétiques.

Julien.

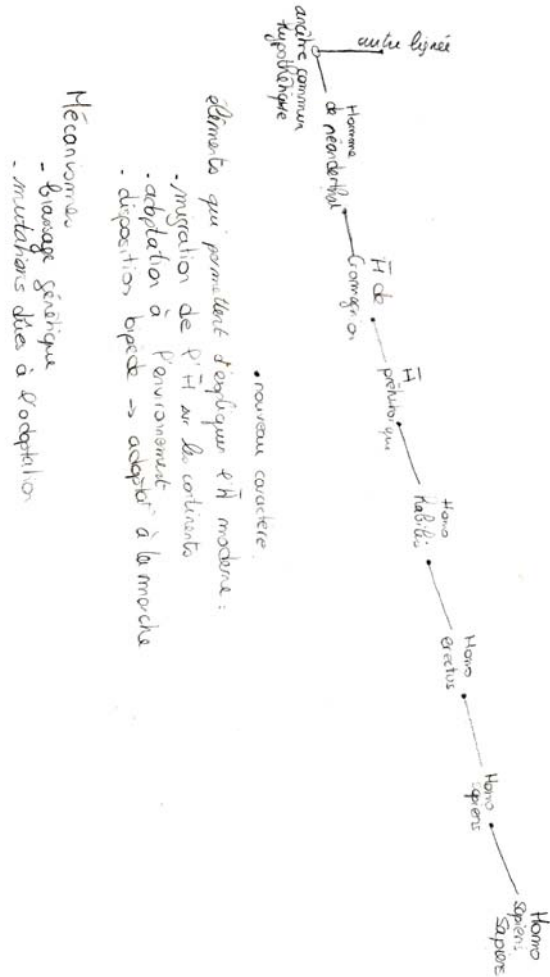
Annexe 9 - Groupe 4 :- Marie



② - adaptation à un milieu peu change -> mode de vie / nutrition

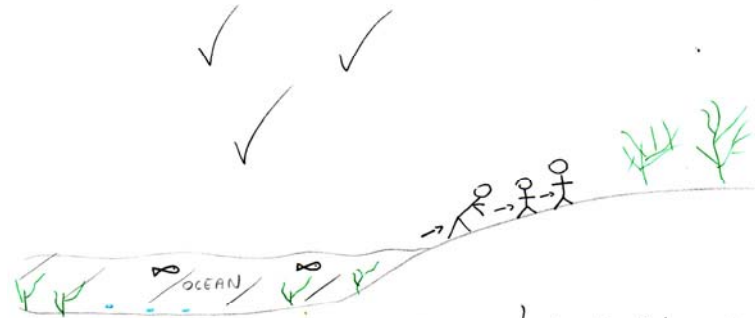
Marie Perle

Annexe 9 - Groupe 5 :- Amandine



Annexe 9 - Groupe 5 :- Anne-Lise

VEREL Ann. Lise



Chronologie:

- 1) - microorganismes (cyanobactéries) (synthèse d'O₂)
- 2) Y apparition des algues
- 3) apparition des poissons
- 4) apparition végétation terrestre
- 5) apparition de mammifères marins, terrestres, de oiseaux
- 6) mammifères ancêtres de l'homme
- 7) Homme de Comaçon, Homme de Néandertal, Australopitèque (Homo habilis), Homo erectus, Homo sapiens sapiens

en parallèle, création de la couche d'ozone et de l'atmosphère.

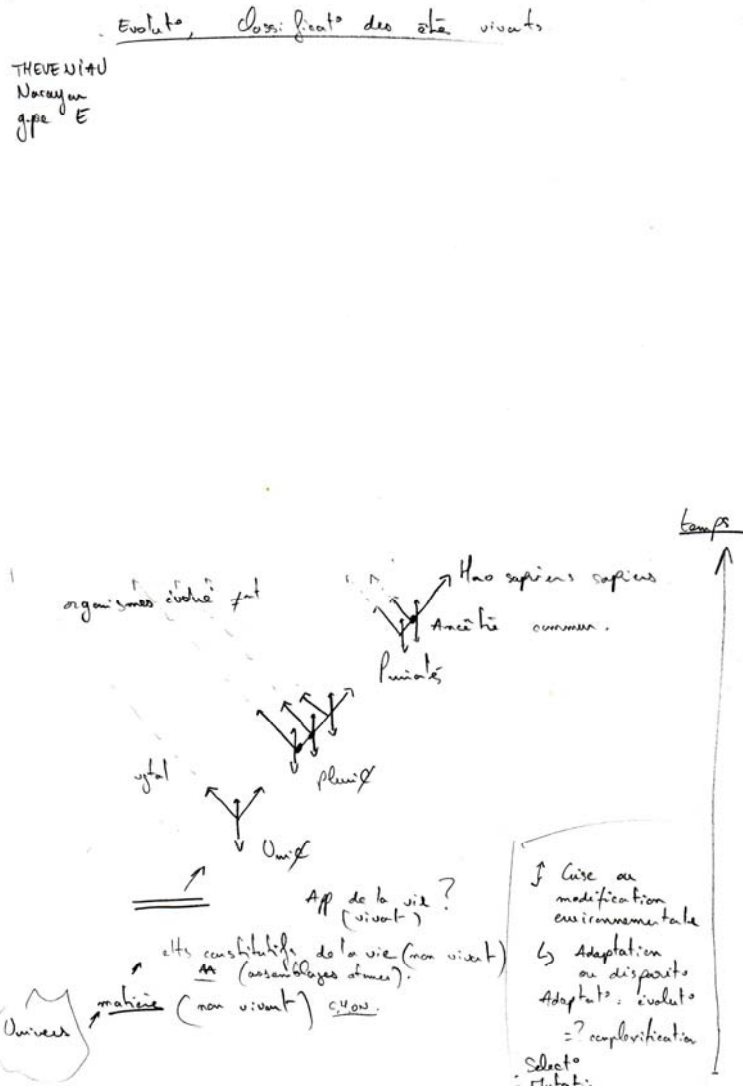
② Mécanismes permettant l'évolution

au hasard Mutat^o => apparit^o

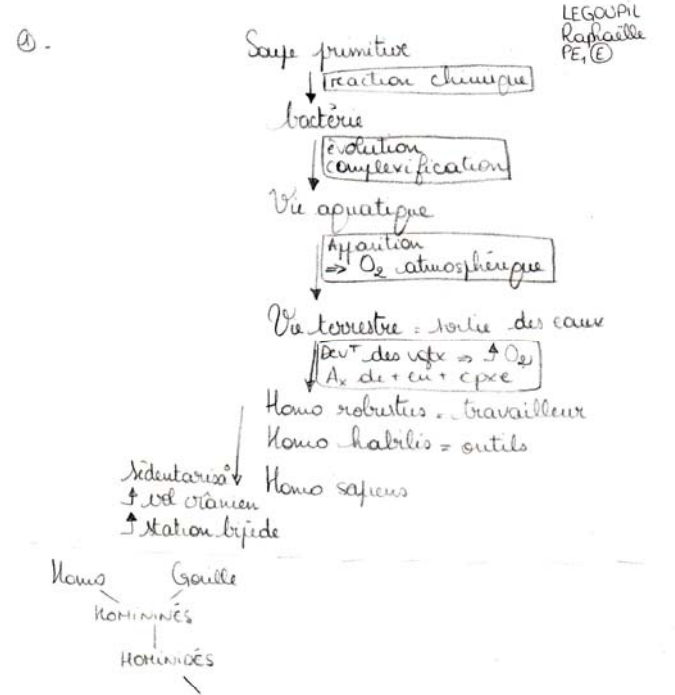
- mutations qui s'accumulent au niveau de l'ADN, les de l'évolution
- adaptation morphologique au milieu, conditions de vie (changements climatiques...) => sélection naturelle

=> Mutat^o au hasard, sélection naturelle, si cette mut^o est bénéfique au soi. Avantage sélectif perdure et peut aboutir à nouvelle spc.

Annexe 9 - Groupe 5 : Narayan

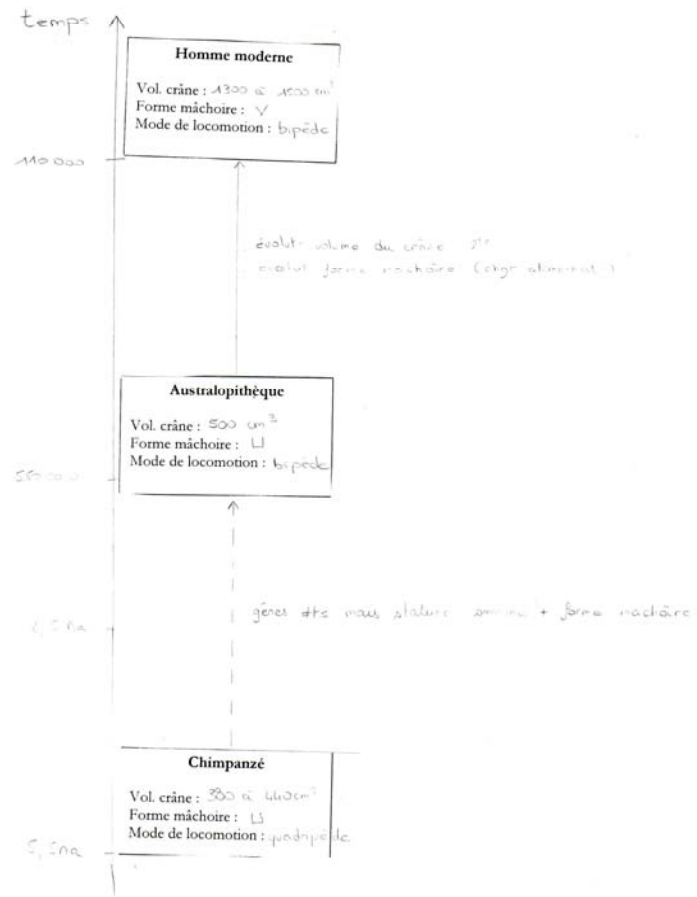


Annexe 9 - Groupe 5 :- Raphaëlle



2. Mécanismes de l'évolution:
- transmission des caractères
 - mutations non neutres viables
 - adaptation aux milieux
 - gde de diversité des génotypes au sein d'une population = permet à une femelle de choisir celui de son partenaire.
- isolement
barrière migratoire { dev^t d'une population ⇒ "spécialiso"
sans mix flux de gènes
migration = nouveau flux de gènes

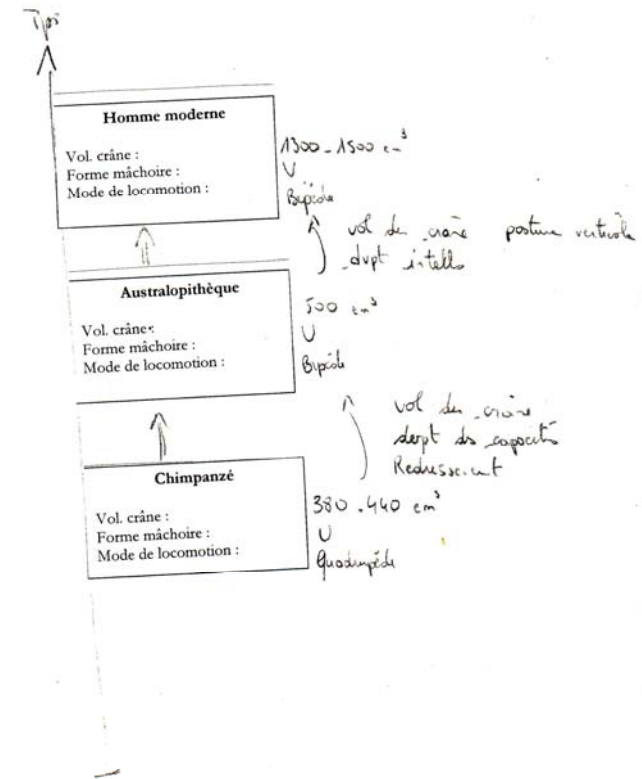
Annexe 10 - Groupe 1 : Céline P.



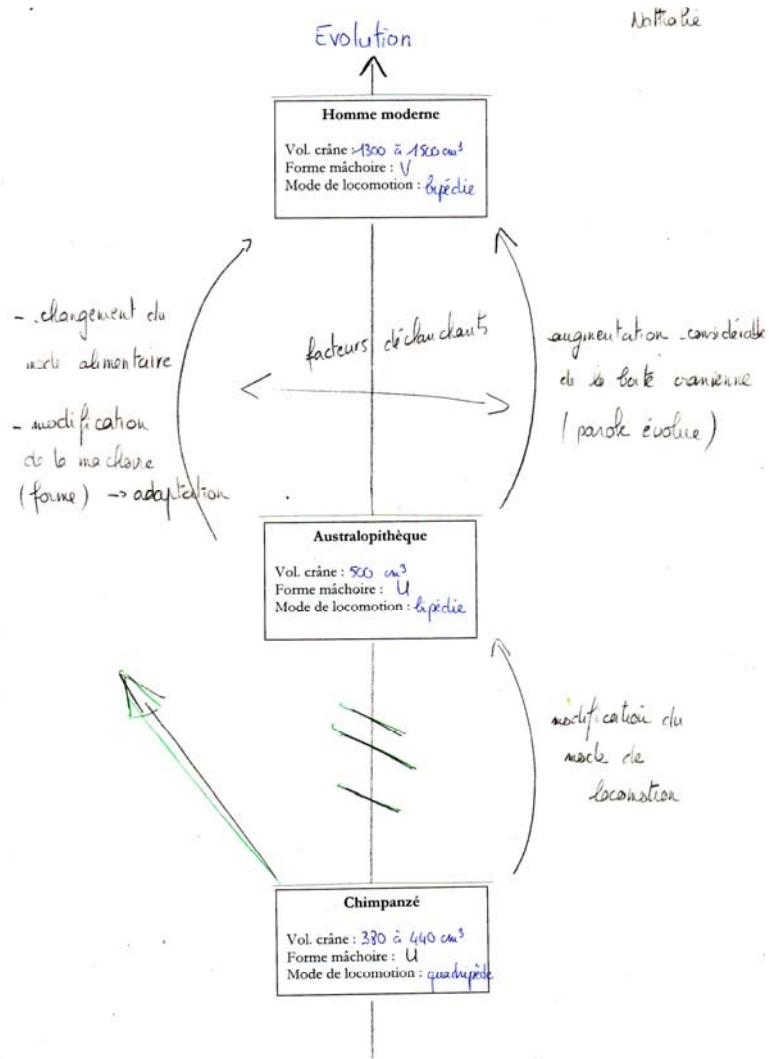
Céline P

Annexe 10 - Groupe 1 : Anne Elisabeth

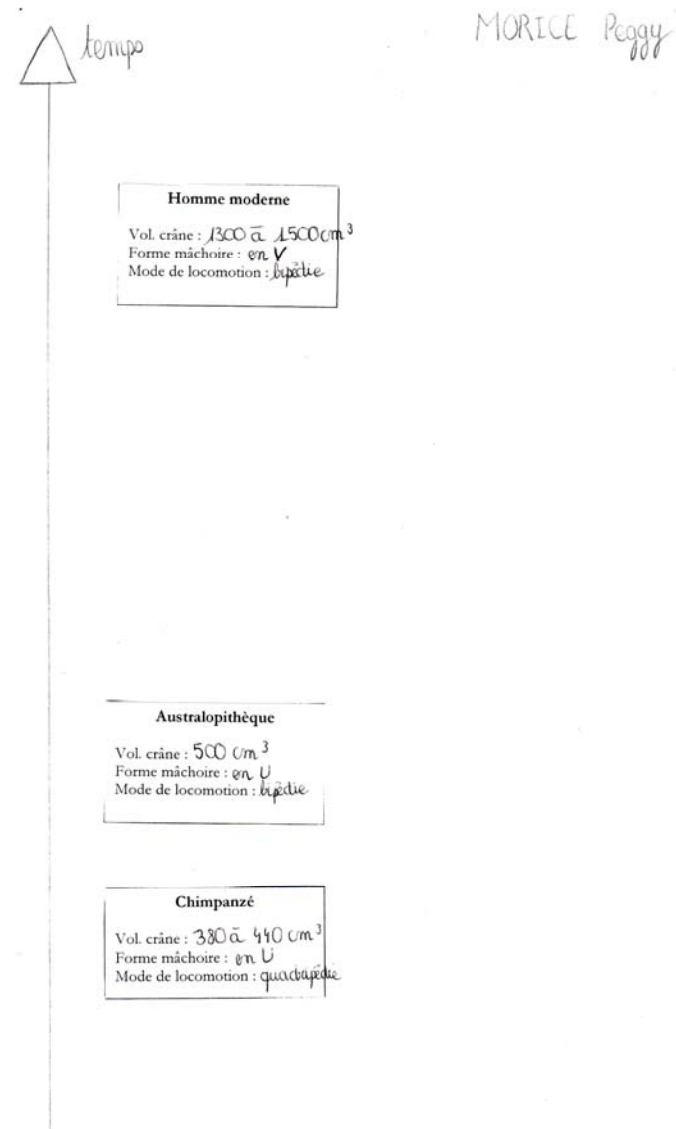
A. Elisabeth Représentation initiale



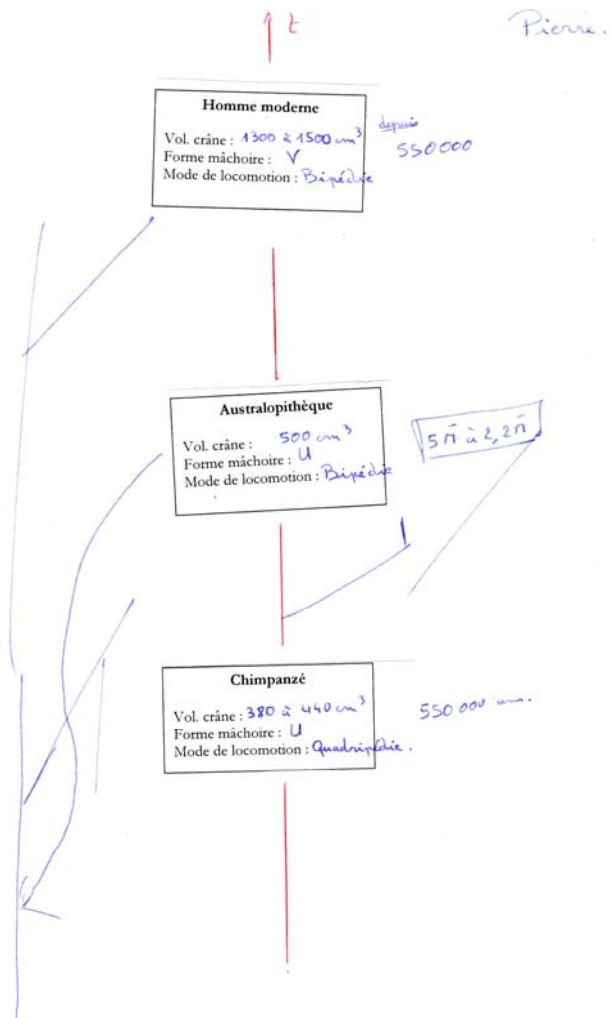
Annexe 10 - Groupe 1 : Nathalie



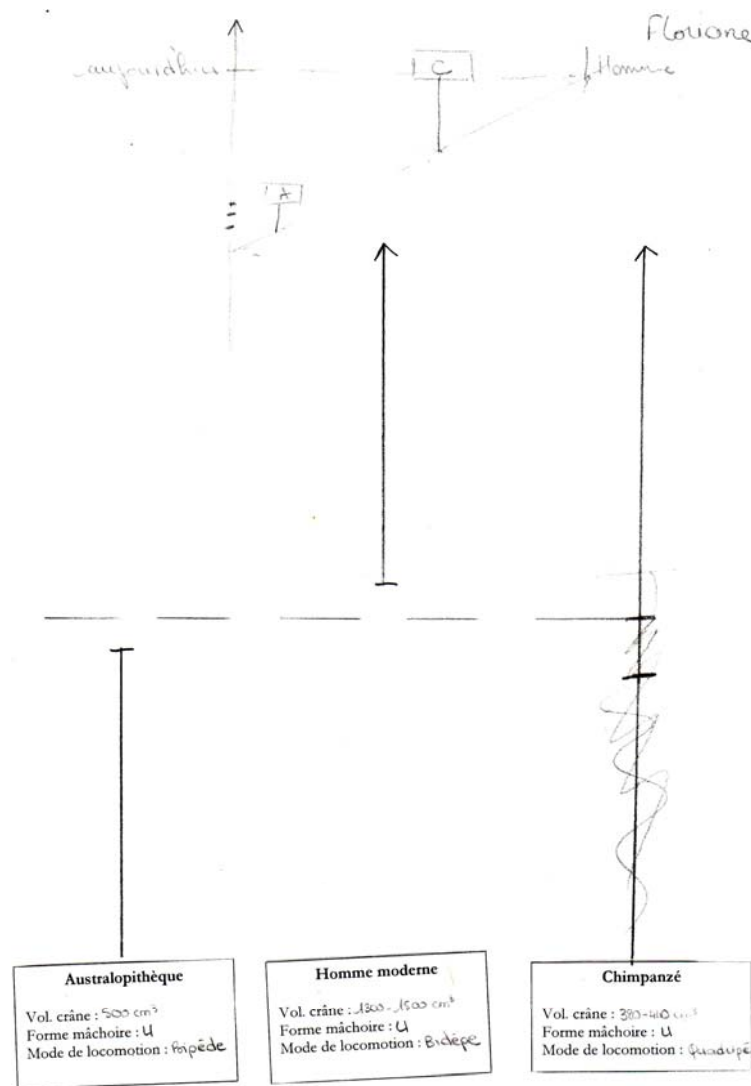
Annexe 10 - Groupe 1 : Peggy



Annexe 10 - Groupe 1 : Pierre

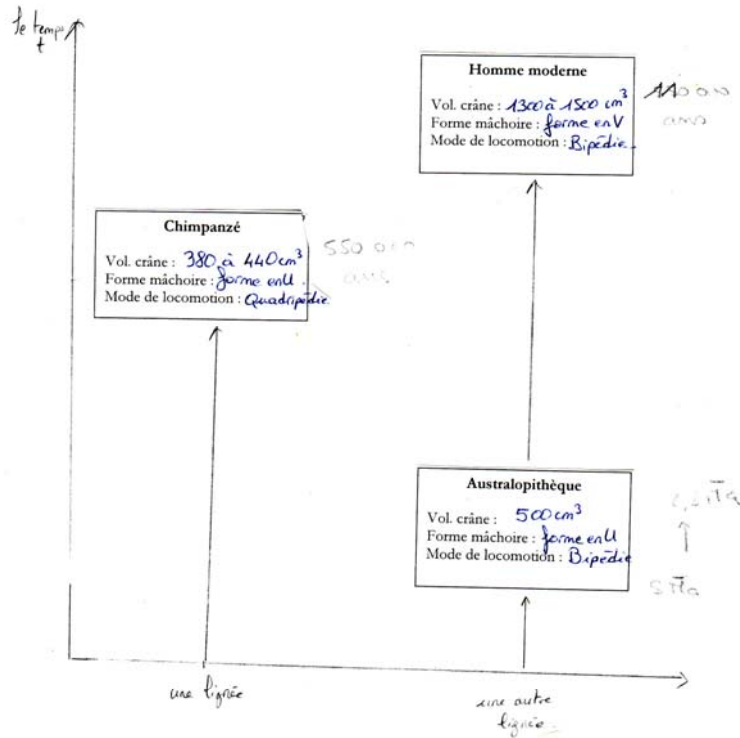


Annexe 10 - Groupe 2 : Floriane



Annexe 10 - Groupe 2 : Mélissa

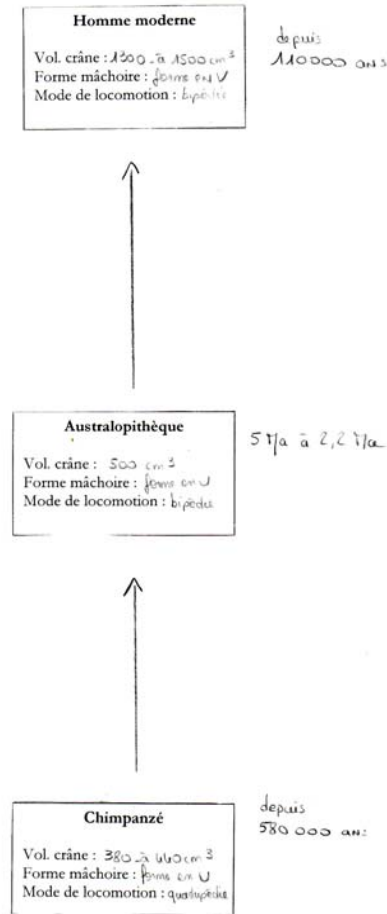
Mélissa



mâchoire Quadrupédie ~~Chimpanzé~~ Chimpanzé
 forme en U Bipédie vol. crâne 500 cm³ Australopithèque
 vol. crâne > 800 cm³ Homme moderne

Annexe 10 - Groupe 2 : Anne Sophie

HANARD
Anne Sophie

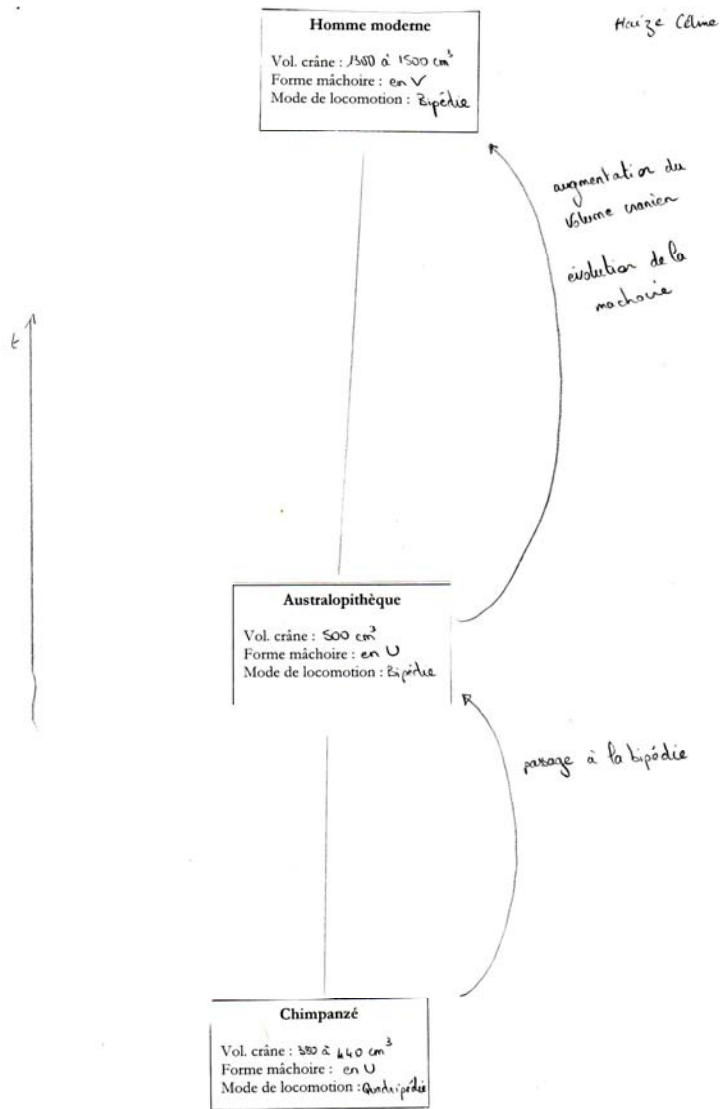


depuis
580 000 ans

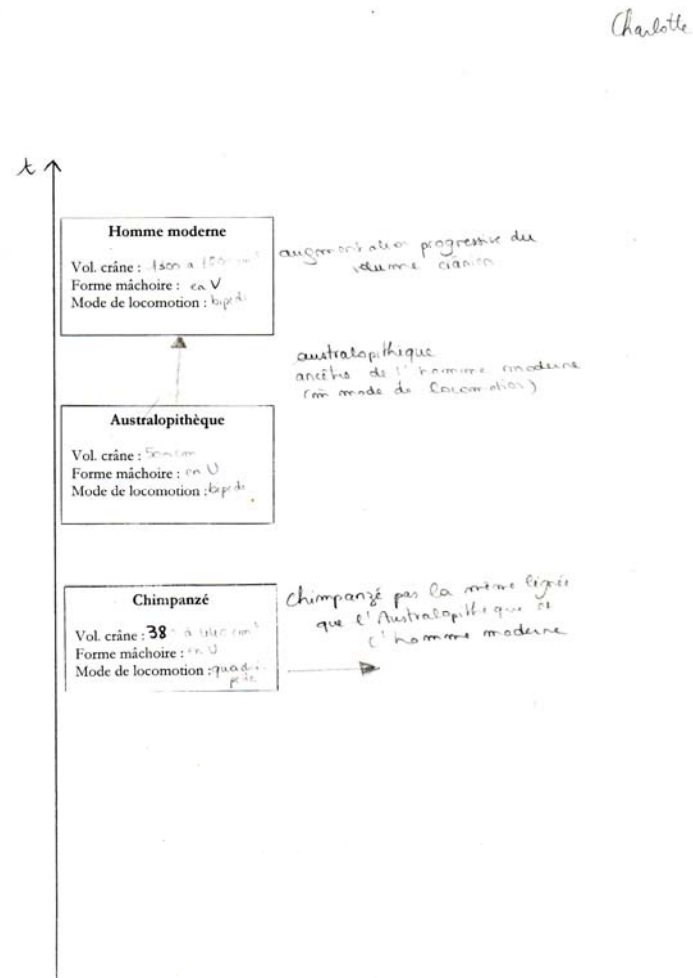
571a à 2,271a

depuis
110 000 ans

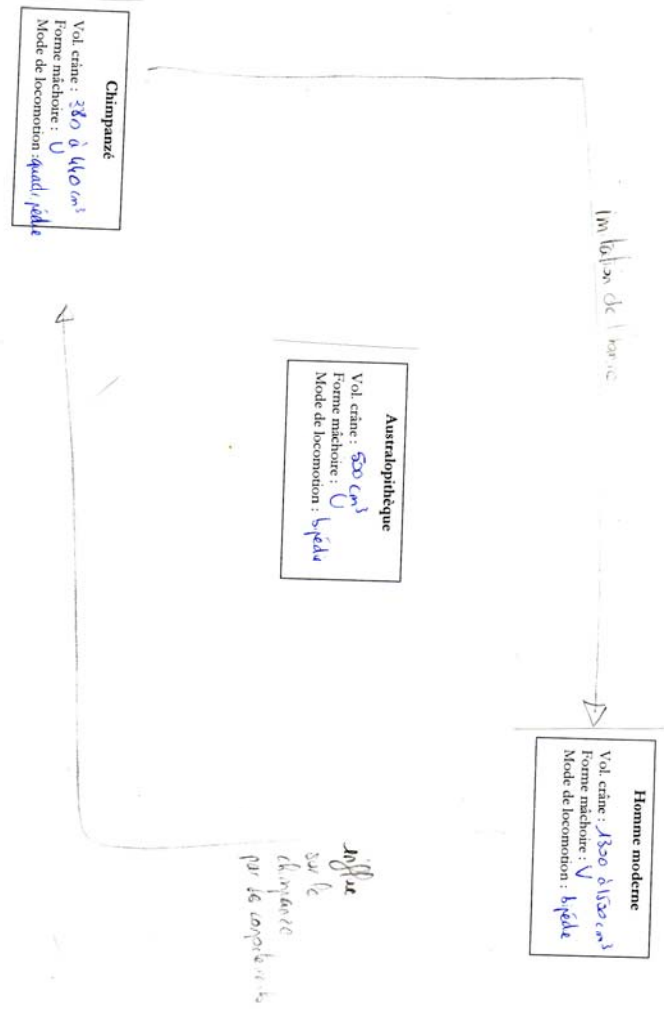
Annexe 10 - Groupe 3 : – Céline



Annexe 10 - Groupe 3 : – Charlotte



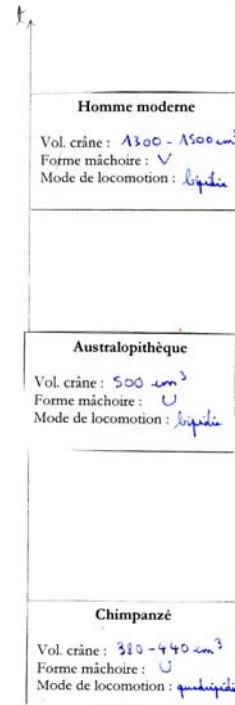
Annexe 10 - Groupe 3 : Fanny



Annexe 10 - Groupe 3 : Pauline

TREBERT Pauline

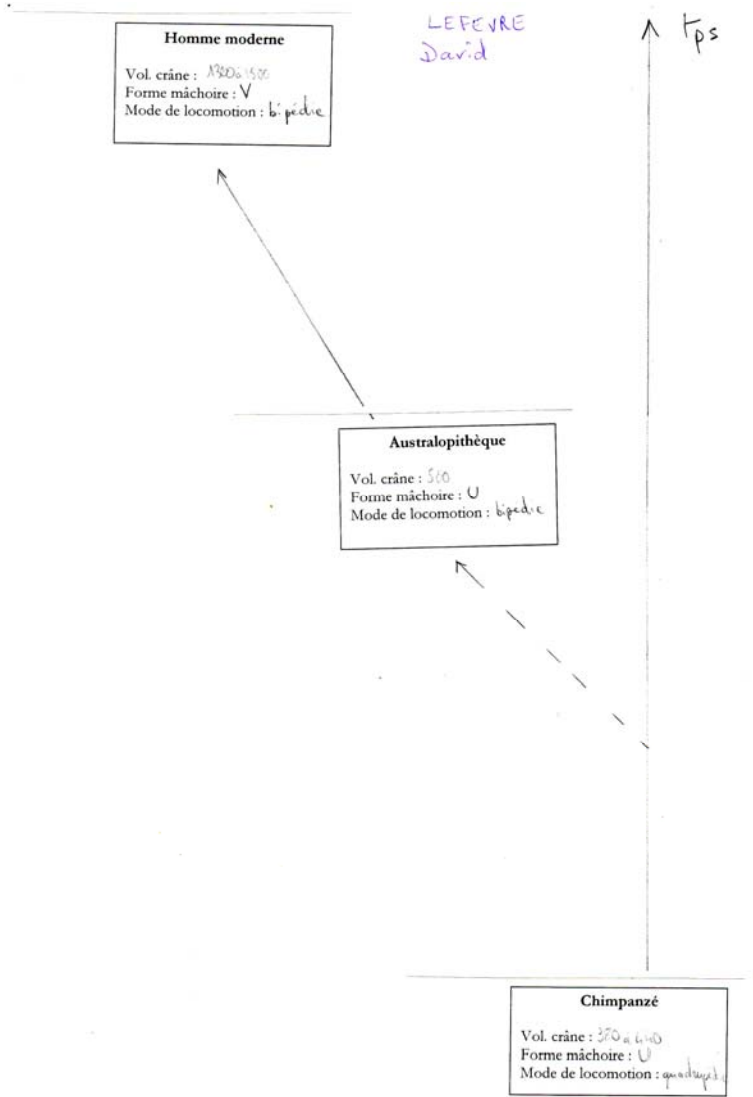
PE1 E



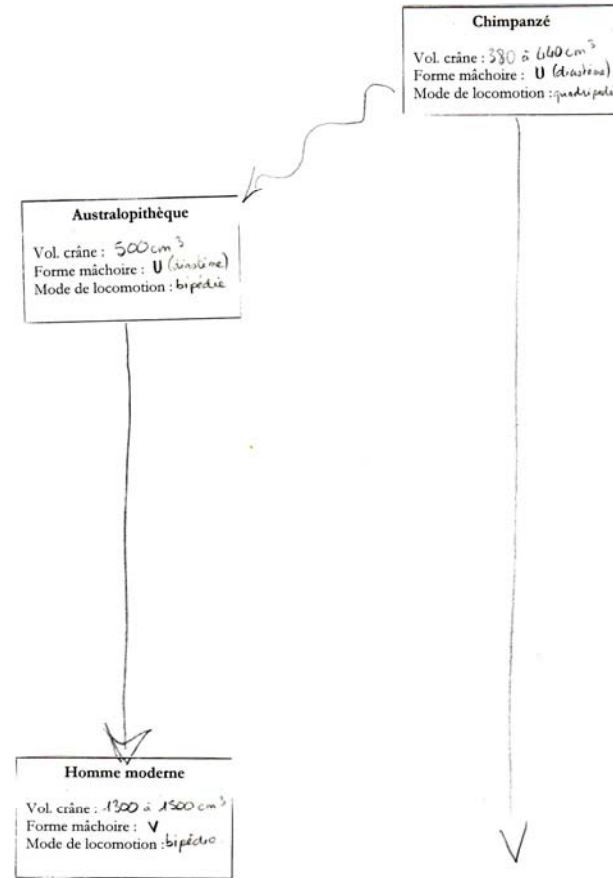
↑ . multiplication des volumes de la boîte crânienne par 3
 . Evolution de la forme de la mâchoire

↓ . passage de la quadrupédie à la bipédie
 . maintien de la forme de la mâchoire en U
 . augmentation de la boîte crânienne

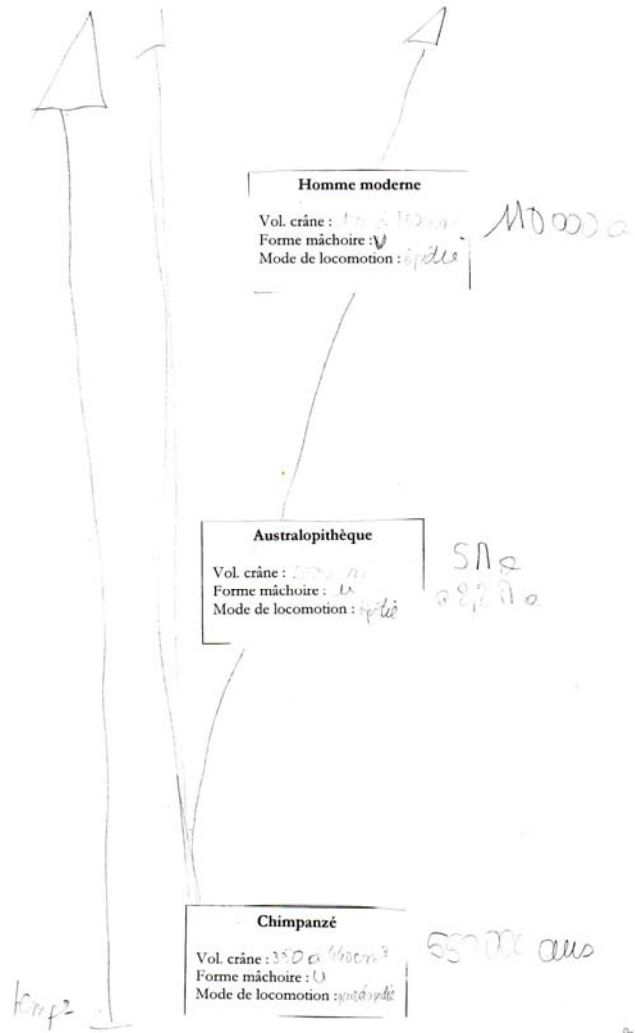
Annexe 10 - Groupe 4 : David



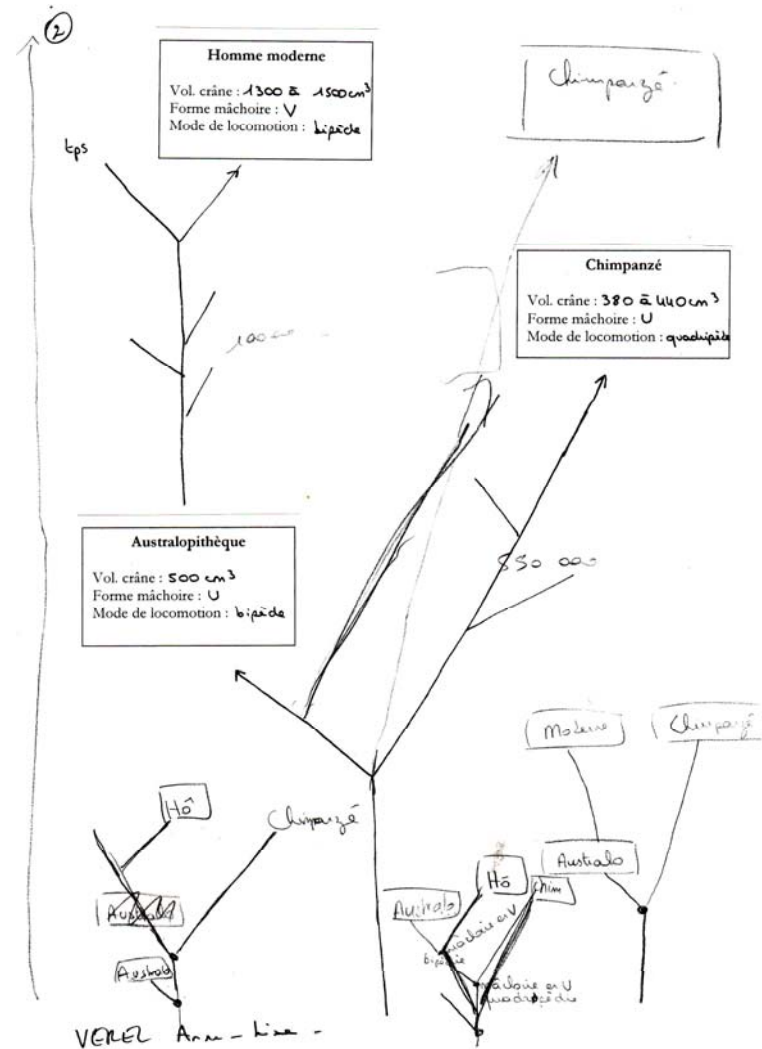
Annexe 10 - Groupe 4 : - Julien



Annexe 10 - Groupe 4 : Marie

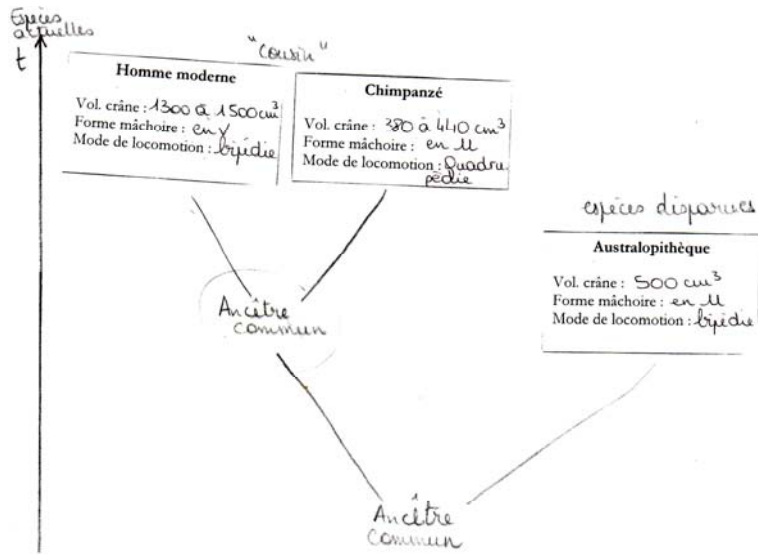


Annexe 10 - Groupe 5 : Anne Lise

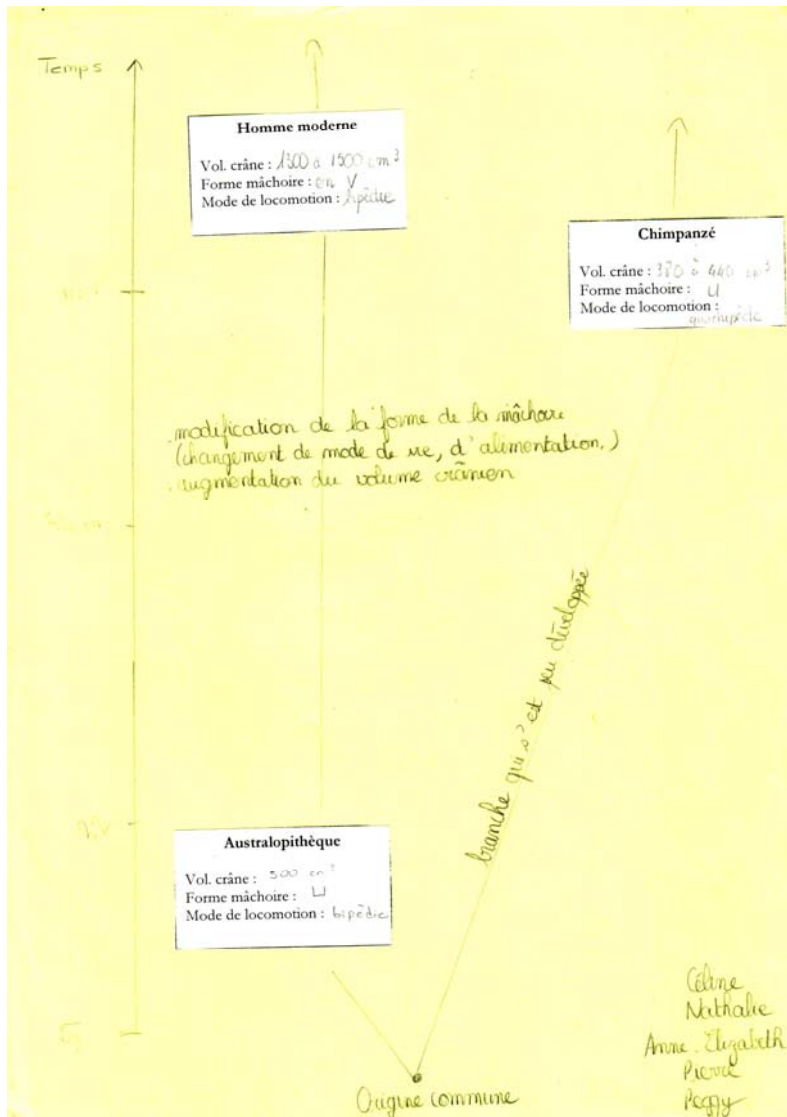


Annexe 10 - Groupe 5 : Raphaëlle

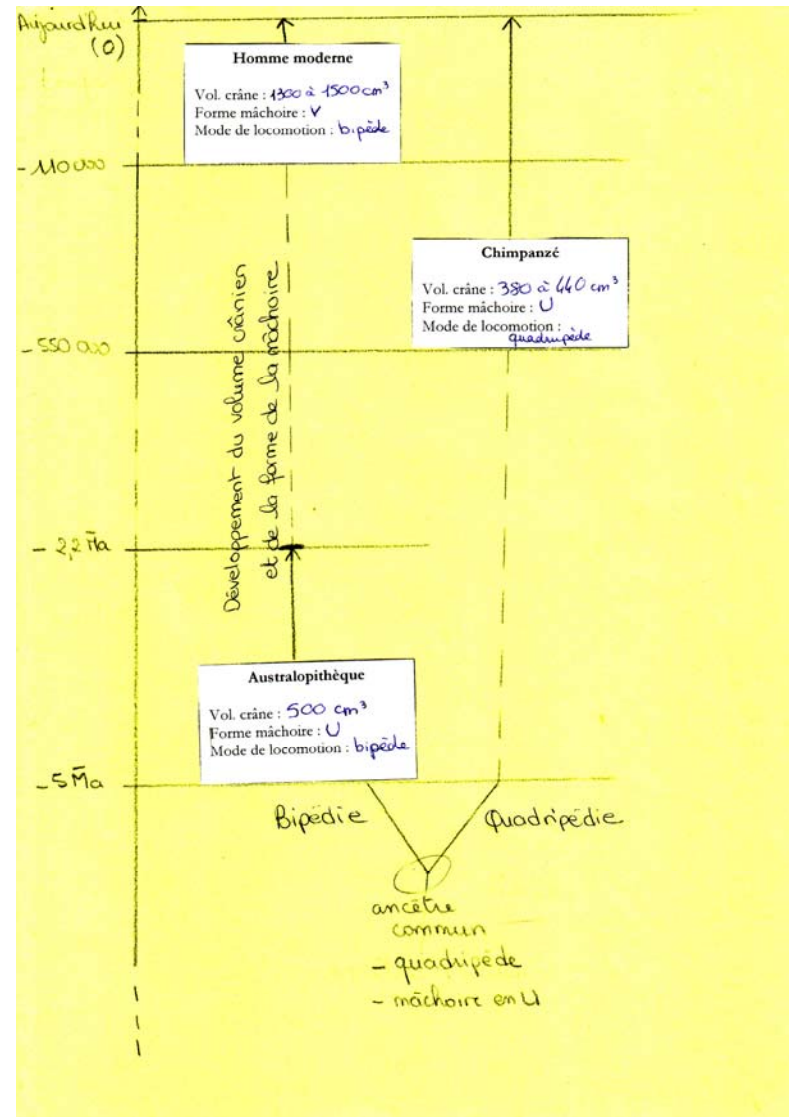
LEGOUPIL
Raphaëlle



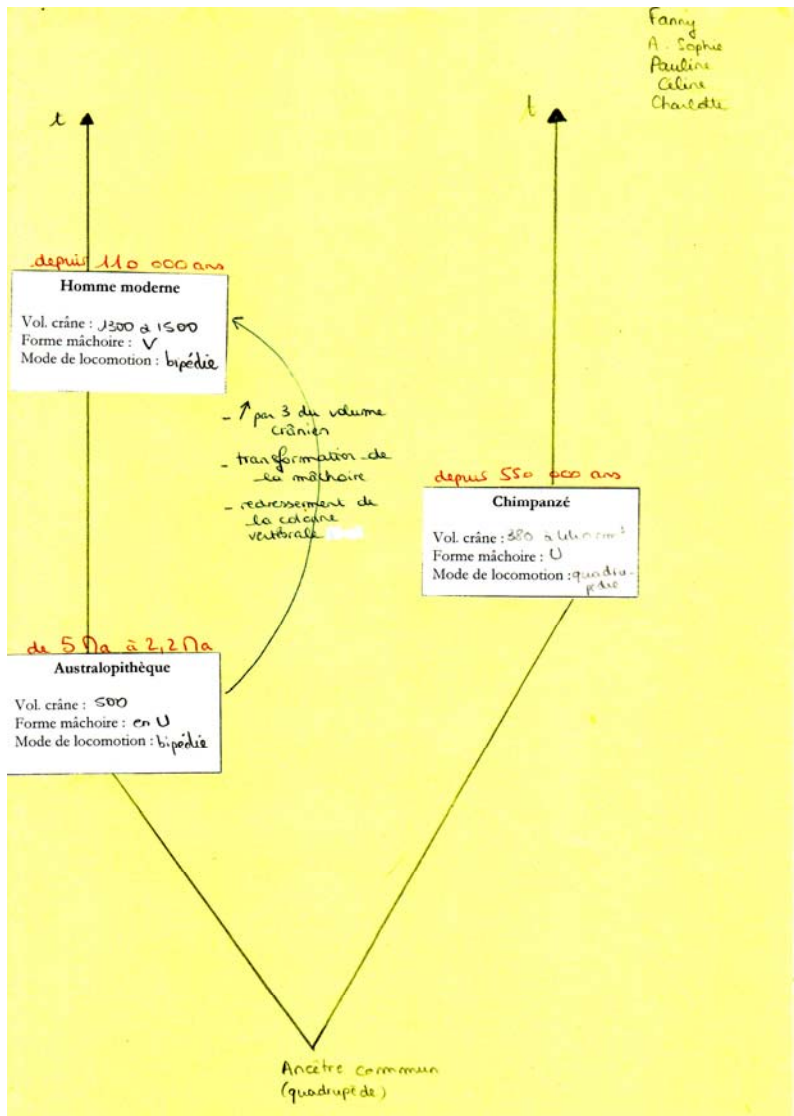
Annexe 11 - Groupe 1 :



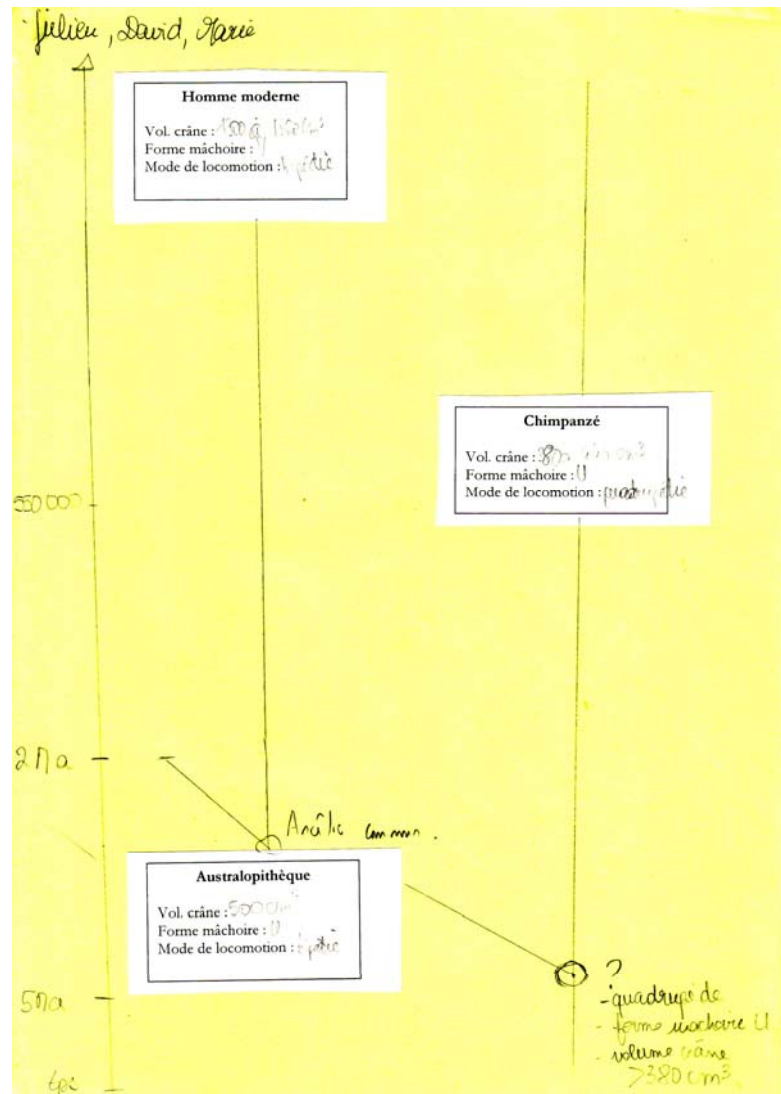
Annexe 11 - Groupe 2 :



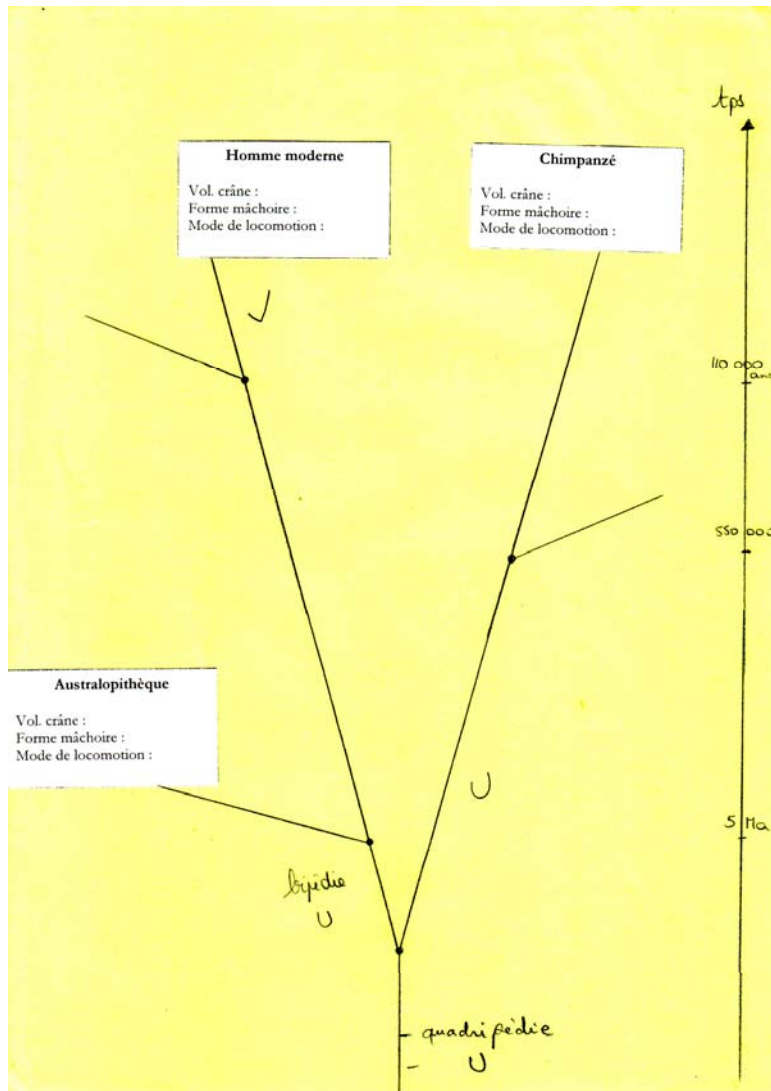
Annexe 11 - Groupe 3 :



Annexe 11 - Groupe 4 :



Annexe 11 - Groupe 5 :



Annexe 12. Script du débat enregistré, groupe de PE1, IUFM Basse-Normandie, Saint-Lô (50)

1	Formateur	On est parti euh // vous aviez euh // des productions relativement différentes et on arrive à deux types de production finale // la première / je vais la représenter comme certains d'entre vous l'on dessiné
2		(Le formateur représente la production du groupe xxx – annexe x.x. - au tableau)
3	Formateur	Voilà un mode de représentation de la lignée humaine // est-ce qu'un membre d'un des groupes qui a proposé cette représentation peut venir l'expliquer au tableau
4	Peggy	Alors / on a comparé un peu entre eux et on s'est aperçu que chimpanzé et australopithèque ils avaient tous les deux une mâchoire en U / donc on s'est dit qu'ils avaient un origine commune // même le volume crânien bah là / c'est pas écrit mais c'est à peu près le même // y en a un c'est 380-440 et l'autre 500 / donc c'est comme ça qu'on s'est dit qu'ils devaient avoir une origine commune // le chimpanzé il existe toujours donc on s'est dit que cette branche là en fait / elle s'était pas développée ou peu développée par rapport à celle-ci où euh // bah on a dit que l'homme moderne descendait de l'australopithèque et qu'entre eux deux / il y avait autre chose quoi // (rires) et puis ben voilà
5	Formateur	Est-ce que vous pouvez nous réexpliquer comment vous en êtes arrivés à l'idée d'une origine commune et quelles seraient les caractéristiques de cet ancêtre commun hypothétique là
6	Peggy	Bah // il aurait une mâchoire en U un volume crânien assez bas
7	Formateur	Assez bas donc / en fait / vous les avez séparés sur quel critère / qu'est-ce qui fait que vous les avez séparés ces deux branches là
8	Peggy	Y en a un qui est quadrupède et l'autre qui est bipède
9	Formateur	Ok donc sur la branche qui part vers l'australopithèque et vers l'homme moderne / ça correspond à quoi cette branche là
10	Peggy	Bah //
11	Formateur	À l'apparition de //
12	Étudiant	Bipédie
13	Formateur	C'est ça un à l'apparition de la bipédie c'est comme ça que vous l'aviez entendu
14	Peggy	(note l'apparition de la bipédie sur la branche qui part vers l'australopithèque)
15	Formateur	Apparition de la bipédie d'accord // donc l'ancêtre commun hypothétique qu'on peut mettre là, serait donc..., si on veut le caractériser, il aurait quels caractères (va noter au niveau de l'ancêtre)
16	Peggy	Mâchoire en U vol crânien bas
17	Formateur	Et puis // Mode de locomotion //
18	Peggy	Quadrupède
19	Formateur	Quadrupède // Est-ce qu'il y a des réactions sur cette proposition là
20	Raphaëlle	Bah // juste que / en fait / si on regarde par rapport à l'échelle de temps / normalement l'australopithèque il y a vécu y a plus longtemps que le chimpanzé.
21	Formateur	Ce qui vous pose problème / c'est quoi //
22	Raphaëlle	Bien / c'est que le chimpanzé / là il dure trop longtemps sur leur arbre / en fait //
23		(agitation)
24	Étudiant	C'est marqué depuis 550 000
25	Formateur	Oui // allez-y
25	Marie	L'espèce / elle persiste depuis le début
26	Anne-Lise	Oui // mais là / ça veut dire qu'elle est apparue en même temps que l'australopithèque

27	Raphaëlle en second plan	Quand tu fais une branche comme ça / c'est la même chose //
28	Pierre	Oui mais y a autre chose avant // nan
29		xxx de l'évolution
30	Étudiant	Bah faut le matérialiser.
31	Formateur	Oui // ça nécessite de / d'indiquer / on va euh // que ce chimpanzé / il existe seulement depuis 550 000 ans c'est ça // donc / euh / on va le représenter comme ça (écrit au tableau) // ça / c'est la période donc / d'existence du chimpanzé 550 000 / ok / et donc là / il provient de là mais // donc l'homme moderne / lui 110 000 (écrit) / ok bon // et puis cet australopithèque là / entre -5 Ma jusqu'à -2,2 millions d'années (écrit) // donc en plus cet ancêtre commun là / ce qu'on peut dire c'est qu'il / cet ancêtre / c'est qu'il serait âgé de plus de - 5 Ma / oui ok ça vous va mieux comme ça
32	Anne-Lise	Bah oui
33	Formateur	Ça permet effectivement de tenir compte que / enfin qu'on n'ait pas l'impression que le chimpanzé correspond à cet ancêtre // parce que si on met une flèche directe on pourrait effectivement croire / mâchoire en U volume crânien bas quadrupède c'est les mêmes caractères que le chimpanzé / mais c'est pas le chimpanzé car il n'existait pas // c'est qu'il y a aussi eu une évolution / il y a aussi eu une évolution / il y a aussi eu une évolution mais il a gardé un certain nombre de caractères par rapport à l'ancêtre / mais il a évolué c'est pas le même // bon autre proposition la deuxième

Présentation du groupe 2

34	Narayan	Nous on a mis presque la même chose / sauf que on a / on a mis ici un autre ancêtre commun parce qu'il y a apparition d'un //
35	Narayan	Écrit au tableau (ajoute l'ancêtre commun)
36	Narayan	Presque la même chose / par contre / un autre changement ici / parce que // c'est la même chose que //
37	Autre étudiant du groupe	Il y a une petite branche
38	Autre étudiant du groupe 2	Il faut mettre une autre petite branche (plusieurs fois)
39	Narayan en faisant	Ça c'est l'homme et ça c'est une autre branche parce que on a eu des difficultés à présenter le temps / donc euh //
40	Étudiant	Narayan / c'est quoi la branche / c'est quoi cette petite branche
41	Narayan	Ça en fait / c'est une / comment ça s'appelle / c'est une ramification pour présenter toutes les autres euh // toutes les autres / euh / comment ça s'appelle / toutes les autres évolutions qui ont eu lieu // parce que si on met pas de petite branche / on voit qu'il y a juste un critère qui a changé entre l'australopithèque et nous
42	Formateur	Donc celui là / c'est qui // là // à la ramification / quel caractère il aurait alors //
43	Narayan	Celui là il est toujours bipède // mâchoire en U, mâchoire en V // donc ça / il présente une mâchoire en V cette fois-ci

TITRE

Problématisation, activités langagières et apprentissages dans les sciences de la vie.
Étude de débats scientifiques dans la classe dans deux domaines biologiques : nutrition et évolution

RÉSUMÉ

À partir d'une analyse épistémologico-langagière de trois débats scientifiques mettant au travail des concepts relevant de la biologie fonctionnaliste (nutrition dans une classe de 3^e) et de la biologie historique (mécanismes de l'évolution dans une classe de première ES ; ancêtre hypothétique commun dans un groupe d'étudiants préparant le concours de recrutement de professeur des écoles), notre recherche vise à comprendre comment les pratiques de savoir et les pratiques langagières des élèves s'articulent étroitement pour permettre une problématisation scolaire visant des apprentissages biologiques. Le type d'analyse mené a permis d'explicitier les liens qui existent entre l'activité de problématisation des élèves, la dynamique de construction d'une explication en biologie et la secondarisation des textes produits oralement par les élèves. Nous avons distingué plusieurs niveaux de problématisation et précisé la fonction des obstacles par rapport au processus de problématisation.

TITLE

Problem Building, Learning and Language Activities In Life Sciences Class
A classroom-debate study in the sciences surrounding nutrition and evolution

ABSTRACT

Based upon the language analysis of 3 in-class science debates on notions taken from functional biology (nutrition with 14-15 year olds) and historical biology (evolutionary mechanisms with 17-18 year olds studying economics and possible common ancestry with a group of students preparing to take the primary-school teachers competitive examination), this PhD looks at how pupil knowledge and language use are closely related in the learning process of problem defining in biology class.

The very type of analysis used allowed for a better understanding of the links that exist between pupil problem-defining, how they try and understand biology and the content beyond the oral work produced by the pupils themselves.

Several different levels of problem building were observed along with the areas where pupils were most susceptible to encounter difficulties.

MOTS-CLÉS

didactique des sciences de la vie, nutrition, évolution, problématisation, débat scientifique en classe, activité langagière

DISCIPLINE

Sciences de l'éducation

UNIVERSITÉ DE NANTES

UFR *Lettres et langages*

École doctorale *Cognition, éducation, interaction*

Centre de recherches en éducation de Nantes - CREN

Chemin de la Censive-du-Tertre, BP 81227, F-44312 NANTES CEDEX 3 (France)