

Thèse de Doctorat

Marco Barroca-Paccard

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur de l'Université de Nantes
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire*

École doctorale : Éducation, Langages, Interaction, Cognition, Clinique (ELICC)
Discipline : Sciences de l'éducation (section 70)
Spécialité : Didactique des sciences

Unité de recherche : CREN- Université de Nantes EA2661
Soutenue le 3 avril 2018
Thèse N° :

Approche didactique de
l'enseignement de la
biodiversité : enjeux
épistémologiques et
curriculaires, et conditions
d'apprentissage des élèves

JURY

Président du jury	Christian ORANGE, Professeur émérite, Université de Nantes
Rapporteurs :	Jean-Marc LANGE, Professeur des universités, Université de Montpellier Yann LHOSTE, Professeur des universités, Université des Antilles
Examineurs :	Virginie MARIS, Chargé de recherche (HDR), Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE) - CNRS Christian ORANGE, Professeur émérite, Université de Nantes
Directeur de Thèse :	Denise ORANGE-RAVACHOL, Professeure des universités, Université de Lille
Co-directeur de Thèse :	Pierre-Henri GOUYON, Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle, à l'AgroParisTech, à Sciences Po (Paris) et à l'ENS Paris.

C'est ce que je fais qui m'apprend ce que je cherche.

Pierre Soulages

Remerciements

En premier lieu, je veux exprimer ma gratitude à Denise Orange Ravachol pour avoir accompagné mon doctorat avec tant de compréhension et de bienveillance. Malgré la difficulté de nos situations professionnelles en fréquente évolution, tu as toujours su être exigeante scientifiquement sans me mettre une pression négative.

Je tiens aussi à remercier Pierre-Henri Gouyon d'avoir accepté de m'accompagner. Je savais depuis mes années d'étudiant en biologie évolutive à quel point tu comprenais les subtilités de la théorie évolutive. J'ai découvert avec ce doctorat un codirecteur ouvert et accueillant qui a toujours répondu à mes questions.

Merci à Jean-Marc Lange, à Yann Lhoste, à Virginie Maris et à Christian Orange d'avoir accepté de relire ce travail et de participer à mon jury de thèse. Je suis très heureux de pouvoir bénéficier de vos analyses et de vos retours sur ce travail.

Merci aussi à tous ceux qui m'ont accompagné dans ce travail directement ou non. Merci à tous mes collègues du site IUFM/ESPE de Laval avec qui nous avons traversé pas mal de tempêtes, merci au membre du séminaire problématisation du CREN pour leur accueil et la qualité des échanges sur la problématisation, merci aux collègues du RéUniFEDD avec qui nous avons partagé nos analyses de l'éducation à un développement durable et plus encore, merci à tous les membres du département de sciences de l'éducation de l'UQO pour leur si précieuse aide dans mon intégration scientifique et sociale à ma nouvelle vie Québécoise, merci aux bibliothécaires pour leur patience face à mes nombreux retards de prêts, merci aux techniciens en informatique qui m'ont parfois sauvé du reformatage, merci aussi aux enseignants, élèves, parents et directions d'écoles d'avoir accepté que je vienne dans des classes voir ce qu'il s'y passe et recueillir une partie des données de ce travail.

Merci à mes proches pour votre patience face aux contraintes d'une thèse. Merci à Fabienne de comprendre encore aujourd'hui qu'un travail de recherche déborde parfois du cadre professionnel et surtout un immense merci pour tout ce que tu as fait dans ce doctorat. Ton travail de relecture et tes innombrables aides m'ont été indispensables. Merci à Evan et Ruben de ne pas me reprocher mes moments d'absence.

Cette thèse n'est ni un commencement ni une fin, elle est une étape. Merci à tous ceux qui m'ont côtoyé et qui m'ont conduit ici et merci d'avance à tous ceux qui continueront après ce doctorat à faire de cette aventure professionnelle dans la recherche une belle partie de cette aventure encore plus grande qu'est notre vie.

Table des matières

REMERCIEMENTS	1
TABLE DES MATIÈRES	3
TABLE DES FIGURES	7
TABLE DES TABLEAUX	11
INTRODUCTION	13
PARTIE I - EPISTÉMOLOGIE DE LA BIODIVERSITÉ	18
A - CONCEPT SCIENTIFIQUE DE BIODIVERSITÉ.	22
1. L'INVENTAIRE NATURALISTE DE LA BIODIVERSITÉ : APPROCHES SPÉCIFIQUE ET ÉCOLOGIQUE	23
1.1. LE CONCEPT D'ESPÈCE	24
1.2. INDICES DE MESURE DE LA DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE	34
1.3. DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE, STABILITÉ DES ÉCOSYSTÈMES ET APPROCHE FONCTIONNELLE	42
2. LES DYNAMIQUES ÉVOLUTIVES DE LA BIODIVERSITÉ : LA BIODIVERSITÉ PROCESSUS	56
2.1. ÉVOLUTION ET VISION « HISTORIQUE » DES ESPÈCES	58
2.2. DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE, ÉVOLUTION DES ESPÈCES ET APPROCHE DYNAMIQUE	70
B - DIMENSIONS SOCIALES DU CONCEPT DE BIODIVERSITÉ	81

3. PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ : SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	82
3.1. VISIONS ROMANTIQUE ET CARTÉSIENNE DE LA NATURE ET PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ	82
3.2. PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ PAR LA PROTECTION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	84
4. POSITIONNEMENTS ÉTHIQUES ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	91
4.1. ÉTHIQUE ENVIRONNEMENTALE	91
4.2. NOTIONS ÉTHIQUES ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	93
4.3. BIOTECHNOLOGIES, DES DÉBATS ÉTHIQUES EN DEVENIR	97
C- BILAN DU CADRE ÉPISTÉMOLOGIQUE	99
PARTIE II – ETUDES DE LA BIODIVERSITÉ DANS LE CADRE SCOLAIRE	106
D - LA SCOLARISATION DE LA BIODIVERSITÉ, APPROCHE CURRICULAIRE	110
5. RECHERCHES CURRICULAIRES ET CHOIX MÉTHODOLOGIQUES	112
5.1. RECHERCHES CURRICULAIRES	113
5.2. MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE CURRICULAIRE	116
6. ANALYSE DES PROGRAMMES ACTUELS DE SCIENCES	131
6.1. ANALYSE THÉMATIQUE QUALITATIVE	133
6.2. ANALYSE LEXICOMÉTRIQUE QUANTITATIVE	146
7. BILAN DE L'ANALYSE DU CURRICULUM PRESCRIT	155
E - LA SCOLARISATION DE LA BIODIVERSITÉ, ÉTUDE DE CAS SUR LES CONDITIONS D'APPRENTISSAGES DES ÉLÈVES	159

8. CHOIX MÉTHODOLOGIQUES	162
8.1. PROBLÉMATISATION DES SAVOIRS EN SVT	162
8.2. MÉTHODOLOGIE DE RECUEIL DES DONNÉES	165
8.3. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES DONNÉES	171
9. ANALYSE DES PRODUCTIONS DES ÉLÈVES OBTENUES LORS DE L'ÉTUDE DE CAS MISE EN PLACE EN CLASSE DE TROISIÈME	174
9.1. ANALYSE GÉNÉRALE SUR LA BIODIVERSITÉ	174
9.2. ANALYSE DE L'EXEMPLE LOCAL DU « PIQUE-PRUNE »	185
9.3. BILAN DE L'ÉTUDE DE CAS SUR LES CONDITIONS D'APPRENTISSAGE DES ÉLÈVES	189
DISCUSSION GÉNÉRALE	198
CONCLUSION	210
BIBLIOGRAPHIE	213
ANNEXES	226
ANNEXE 1 : HISTORIQUE DES ÉDUCATIONS ENVIRONNEMENTALES	227
ANNEXE 2 : LES DIFFÉRENTS NIVEAUX CURRICULAIRES	235
ANNEXE 3 : FICHIER DE DONNÉES ISSUS DU CODAGE DES EXTRAITS DE PROGRAMMES ABORDANT LA BIODIVERSITÉ (DU CYCLE 3 À LA TERMINALE S). LE CODAGE A ÉTÉ RÉALISÉ AVEC NVIVO.	237
ANNEXE 4 : FICHIER DE DONNÉES CONTENANT LES EXTRAITS DE PROGRAMMES ABORDANT LA BIODIVERSITÉ (DU CYCLE 3 À LA TERMINALE S) UTILISÉ POUR LE TRAITEMENT DES DONNÉES AVEC IRAMuTeQ	257
ANNEXE 5 : PRÉSENTATION DE LA SÉQUENCE MISE EN PLACE EN CLASSE DE TROISIÈME	271
ANNEXE 6 : TRANSCRIPTION DES RÉPONSES DES ÉLÈVES CLASSE DE TROISIÈME EN 2015	278
ANNEXE 7 : L'OPINION DES FRANÇAIS SUR LA PARTICIPATION DES CITOYENS À UNE AGENCE POUR LA BIODIVERSITÉ	301

Table des figures

- *Figure 1 : Quatre espèces cryptiques chez des papillons illustrant la difficulté de distinguer ce type d'espèces sur la base de critères morphologiques (tiré de Burns, Janzen, Hajibabaei, Hallwachs et Hebert (2008)).* 27
- *Figure 2 : Illustration de la relation entre équilibre et stabilité (d'après DeAngelis et Waterhouse (1987)). Le point A est un point d'équilibre stable car peu sensible aux perturbations, B est un point d'équilibre instable car toute perturbation va rompre l'équilibre* 45
- *Figure 3 : Illustration de la résilience écologique et de la résilience d'ingénierie et de la résistance. L'état d'un système écologique peut être modélisé par la position d'une balle sur un paysage (Peterson, Allen et Holling, 1998). Dans cette modélisation, on imagine qu'une perturbation du système peut déplacer la balle, mais ensuite la balle va se déplacer selon la gravité. Les creux dans la surface du paysage représentent donc des états stables du système. Dans ce cas, la résistance correspond aux forces qui s'opposent au déplacement de la balle quand celle-ci est dans un état stable. Si cette résistance est dépassée, la balle va s'éloigner de son état stable et seule la résilience du système permettra le retour à un état stable. Trois situations sont représentées. A : la perturbation a conduit la balle dans une zone à faible pente. La balle va mettre un temps long pour retrouver son état initial et présentera une faible résilience d'ingénierie. B : la perturbation a été de même importance mais a conduit la balle dans une zone à forte pente. Le système va rapidement retrouver son état stable conduisant à une forte résilience d'ingénierie. C : la perturbation a été plus importante, conduisant la balle à rejoindre un autre état stable présentant les mêmes relations entre les populations et entre les variables d'état. La résilience d'ingénierie ne peut être déterminée car l'état final est différent de l'état initial. La résilience écologique du système est tout de même présente et le nouvel état stable est même ici légèrement plus stable que précédemment.* 50
- *Figure 4 : Aspect buissonnant de l'évolution tel que Darwin le figurait dans l'Origine des Espèces (Darwin, 1860, d'après le site <http://darwin-online.org.uk/>)* 62
- *Figure 5 : Les trois catégories de groupes systématiques (Reproduit d'après Hennig, 1965, p. 103)* 66
- *Figure 6 : Exemple hypothétique de l'évolution des LITUs au sein du taxon chimaera (d'après Pleijel et Rouse (2000)).* 69

- *Figure 7 : trois modèles qui présente le lien entre biodiversité et bien-être humain (modifié d'après Naeem et al. (2016)). Les flèches représentent le lien causal et les signes entre parenthèses indique l'augmentation (+) ou la diminution (-). La situation (a) correspond à une vision où le développement humain permet d'augmenter le bien-être au détriment de la biodiversité. La situation (b) est proposée dans le cadre du développement des services écosystémiques qui permettent ainsi d'envisager que l'augmentation de la biodiversité contribue au développement du bien-être humain. La situation (c) est une situation de type gagnant-gagnant qui considère que la biodiversité va conduire à améliorer le bien-être humain par le développement des services écosystémiques et par les valeurs culturelles et que, en retour, le bien-être humain va permettre de protéger la biodiversité.*

.....89
- *Figure 8 : Liens entre les services écosystémiques et le bien-être humain (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Cette figure illustre la force des liens entre les différentes catégories de services écosystémiques et les composantes du bien-être humain et inclut des indications sur la mesure dans laquelle il est possible que des facteurs socioéconomiques médient ce lien (par exemple, s'il est possible d'acheter un substitut à un service écosystémique dégradé, il existe un fort potentiel de médiation socioéconomique). La force des liens et le potentiel de médiation diffèrent selon les écosystèmes et les régions. Outre l'influence des services écosystémiques sur le bien-être humain, d'autres facteurs - y compris d'autres facteurs environnementaux ainsi que des facteurs économiques, sociaux, technologiques et culturels - influencent le bien-être humain et les écosystèmes sont à leur tour affectés par des changements dans le bien-être humain.96*
- *Figure 9 : Représentation schématique des deux principaux axes de structuration épistémologique de la notion de biodiversité développés dans cette première partie..... 101*
- *Figure 10: Démarche qualitative d'analyse de contenu réalisée dans le cadre de notre travail curriculaire. 120*
- *Figure 11 : Principe d'encodage réalisé avec Nvivo® par création de noeuds réalisés à partir de différents éléments importés dans le logiciel..... 122*
- *Figure 12 : Exemple de préparation d'un texte pour une analyse dans IRaMuTeQ (adapté d'après Ratinaud, 2009)..... 126*
- *Figure 13 : Exemple d'analyse statistique lexicométrique d'un texte préparé dans IRaMuTeQ 128*
- *Figure 14 : Nombre de références (phrases sélectionnées) servant à l'analyse qualitative en fonction des différentes catégories construites lors de l'analyse épistémologique de la notion de biodiversité. Pour une présentation plus détaillée des différentes catégories utilisées pour le codage, voir le Tableau 5, p.107. La figure A correspond au nombre d'éléments présents du cycle 3 à la Terminale*

- S* relevant des dimensions sociales, scientifiques et biotechnologiques. La figure B représente le nombre d'éléments relevant de chaque niveau d'étude au sein du curriculum..... 134
- *Figure 15 : Résultats de l'analyse hiérarchique descendante réalisée sur les programmes actuels de sciences et technologie et de SVT (du cycle 3 à la classe de Terminale S). La figure 2A présente l'arbre de classification obtenu par analyse hiérarchique descendante et les principaux mots associés à chacune des classes. La figure 2B correspond à l'analyse factorielle des correspondances associées..... 148*
 - *Figure 16: Analyse des cooccurrences pour le sous-corpus correspondant à la classe « Etude scientifique de la biodiversité ». Plus la taille des mots est grande, plus ils sont fréquents dans le corpus, plus les traits sont épais, plus les mots sont cooccurrents. Seuls les mots présents en plus de 4 occurrences sont représentés. 150*
 - *Figure 17 : Analyse des cooccurrences pour le sous-corpus correspondant à la classe « Pratiques agricoles et de production alimentaire ». Plus la taille des mots est grande, plus ils sont fréquents dans le corpus, plus les traits sont épais, plus les mots sont cooccurrents. Seuls les mots présents en plus de 4 occurrences sont représentés..... 152*
 - *Figure 18 : Analyse des cooccurrences pour le sous-corpus correspondant à la classe « Exploitation des ressources de l'environnement ». Plus la taille des mots est grande, plus ils sont fréquents dans le corpus, plus les traits sont épais, plus les mots sont cooccurrents. Seuls les mots présents en plus de 4 occurrences sont représentés. 154*
 - *Figure 19 : Représentation de la construction du problème de la connaissance ordinaire au savoir scientifique (modifié d'après Orange (2000, p.27))..... 164*
 - *Figure 20 : Document distribué aux élèves avant de poser la question des causes possibles de la perte actuelle de biodiversité..... 178*
 - *Figure 21 : Causes de la crise actuelle de biodiversité selon les élèves 182*
 - *Figure 22 : Document utilisé pour présenter l'exemple du pique-prune. 185*
 - *Figure 23 : Espace de contraintes théorique de l'étude de cas proposée. La figure représente l'espace de contrainte produit à partir de la question : « L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ? » complété par les éléments apportés suite à l'intervention « Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien ». (voir texte pour plus de détails) 194*
 - *Figure 24 : Espace de contraintes construit à partir des réponses des élèves pour l'étude de cas proposée. La figure représente l'espace de contraintes produit à partir de la question : « L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ? » complétée par*

les éléments apportés suite à l'intervention « Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien ». Les éléments grisés correspondent à des éléments qui n'ont pas été pris en charge par les élèves. La flèche correspond à des nécessités identifiées suite à l'intervention (voir texte pour plus de détails). 196

- *Figure 25 : Modèle d'une éducation à l'environnement et à un développement durable basé sur la construction et le travail de problèmes (voir texte pour l'explication). La construction et le travail des problèmes et savoirs environnementaux n'est permise que par les interactions (indiquées par les flèches) des données du registre empirique, des valeurs et des actions..... 208*
- *Figure 26 : Différents niveaux curriculaires définis dans le cadre d'une étude didactique des curriculums. Les aspects liés à la transposition didactique sont indiqués dans les carrés grisés sur le côté droit. 236*

Table des tableaux

- *Tableau 1 : Les différents types de mécanismes d'isolement reproductif² (d'après Coyne et Orr (2004)).*29
- *Tableau 2 : Comparaison de différents liens entre équilibre et stabilité, d'après Wu et Loucks (1995).* 47
- *Tableau 3 : Rôle de la diversité intraspécifique dans des processus évolutif et écologique (adapté d'après Mimura et al. (2017)).* 74
- *Tableau 4 : Présentation des quatre catégories de services et des exemples présentés dans le MEA (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) accompagnée de critiques possibles basées sur le travail de Maris (2014) (dans son travail, Maris ne distingue pas les services de régulation et de support).*86
- *Tableau 5 : Tableau synthétique des principaux éléments épistémologiques de la biodiversité que nous avons présentés. Pour chaque thématique, différentes catégories sont présentées avec une brève description. Pour chacune d'elles, nous avons indiqué la partie du texte qui présente ces éléments ainsi la première page de cette partie.* 104
- *Tableau 6: Principales approches d'analyses de contenu. Pour chaque approche, le principe de base est résumé et quelques exemples des principaux logiciels sont présentés.* 118
- *Tableau 7: Présentation du corpus de données utilisé. Pour chaque niveau de classe concerné, l'année de publication du programme est indiquée ainsi que le nombre d'occurrences du mot biodiversité par rapport au nombre total de mots identifiés dans la partie du programme considéré. La référence du bulletin officiel est aussi indiquée.* 132
- *Tableau 8 : Présentation synthétique des questions analysées dans le cadre de la séquence forcée mise en place en classe de troisième. Pour chaque question la date de la séance est précisée ainsi que le nombre d'élèves présents (n).* 170
- *Tableau 9 : Codage de la question : « Nous allons étudier la biodiversité, pouvez-vous essayer de définir ce qu'est la biodiversité pour vous ? »* 175
- *Tableau 10 : Codage de la question : A votre avis, quelles peuvent-être les causes de la crise actuelle de biodiversité ?* 180

- *Tableau 11 : Catégories de réponses pour la question : Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité ? 181*
- *Tableau 12 : Tableau de croisement des définitions scientifiques et des raisons de protéger la biodiversité. Dans chaque case sont indiquées les valeurs mesurées ainsi que la valeur théorique en cas d'indépendance qui est notée entre parenthèses. 184*
- *Tableau 13 : Catégories de réponses pour la question : L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ?..... 186*
- *Tableau 14 : Arguments des élèves pour justifier la protection de l'insecte malgré le coût pour l'Homme. 187*
- *Tableau 15 : Synthèse des différentes catégories d'ERE (D'après Girault et Sauvé (2008)) 228*

Introduction

L'expression « *BioDiversity* » a été inventée par Walter G. Rosen en 1985 lors de la préparation du *National Forum on Biological Diversity* puis popularisée par Wilson et Peter en 1988 dans le livre « *Biodiversity* » (Wilson et Peter, 1988, paragraphe 90). Mais son développement au-delà de la sphère des biologistes de la conservation a réellement commencé un peu plus tard en 1992, lors de la Convention sur la diversité biologique (CDB). Cette convention va définir la biodiversité comme la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. » (ONU, 1992, article 2). Depuis cette date, la biodiversité, ce terme simple, facile à utiliser et qui permet de parler de l'ensemble de la diversité du vivant ou du tissu vivant de la planète (Barbault, 2006; Girault, Quertier, Fortin Debart et Maris, 2008) a connu un succès fulgurant dans les milieux scientifiques mais aussi dans la société en général. Ce succès n'est pas un hasard, le néologisme de *BioDiversity* était dès le début un moyen de diffuser au-delà du cercle académique les travaux de biologie de la conservation et « [...] c'est bien parce qu'il est un *buzzword* qu'il a permis à ces savants de faire partager leurs soucis. » (Micoud, 2005, p.21).

Dans l'enseignement général français, le terme de biodiversité est présent 35 fois dans les programmes scolaires actuels de sciences et technologies et de sciences de la vie et de la Terre (Voir Tableau 7, p.132). Ce travail de doctorat s'appuie sur le constat de cette entrée de la biodiversité à l'école pour poser la question suivante : comment se fait cette scolarisation du concept de biodiversité.

Cette question de recherche générale implique dans un premier temps de clarifier ce qu'est la biodiversité. En effet, elle a un côté ubiquiste et la définition de la biodiversité est donc floue. Dix ans après son invention, DeLong recense 85 définitions scientifiques de la biodiversité et les définitions ont continué à s'accumuler (DeLong, 1996; Garson, Plutynski et Sarkar, 2016). De plus, ce terme recouvre une incroyable diversité d'échelles. « Parle-t-on réellement de la même chose quand on s'intéresse à la biodiversité de pommiers, à celle d'un bocage normand, ou encore à celle de l'Amazonie ou de la Nouvelle-Guinée ? » (Le Guyader, 2008, p.7). Ceci a amené certains auteurs à considérer que la biodiversité est un concept flou (Le Guyader, 2008) voire un concept fourre-tout (Simon, 2006), sorte d'agrégation d'innombrables visions

et problèmes parfois très différents (Ledant, 2007). La question de la scientificité se pose donc, à tel point que Delord parle même d'une possible « imposture scientifique¹ » (Delord, 2014).

On peut donc se demander si la biodiversité, au-delà de son succès médiatique, est un concept scientifique et en quoi elle diffère de la diversité biologique. Pour répondre à ces questions, il faut analyser plus finement d'un point de vue épistémologique ce que recoupe la biodiversité. Cette analyse épistémologique que nous développerons dans la première partie de ce travail (PARTIE I - Epistémologie de la biodiversité, p.18-106) se centrera tout d'abord sur la biodiversité en tant que concept scientifique (Partie A - Concept scientifique de biodiversité), car « [...] même si le terme "biodiversité" ne se réduit pas strictement à la diversité biologique, c'est néanmoins à elle qu'il réfère » (Maris, 2006, p. 88). Cette analyse des dimensions scientifiques de la biodiversité s'articulera autour de deux visions possibles que nous avons nommées vision naturaliste (Chapitre 1 : L'inventaire naturaliste de la biodiversité : approches spécifique et écologique, p.23-56) et vision évolutive (Chapitre 2 : Les dynamiques évolutives de la biodiversité : la biodiversité processus, p.56-82).

Au-delà de sa dimension scientifique, la biodiversité se rapporte aussi à une dimension environnementale (Partie B - Dimensions sociales du concept de biodiversité). Nous aborderons donc le positionnement de l'Homme par rapport à cette biodiversité menacée par le développement industriel et technologique des sociétés (Chapitre 3 : Protéger la biodiversité : services écosystémiques, p.82-91). Nous montrerons notamment comment la notion de services écosystémiques qui s'est largement développée depuis plus de 10 ans pose

¹ Delord termine son chapitre sur une note un peu moins négative pour la biodiversité « Si la défense du divers permet d'ouvrir sur ces nouvelles bases un vaste débat plus démocratique [...] alors la ruse épistémologique de la biodiversité mérite d'être soutenue. » (Delord, 2014)

des questions éthiques (Chapitre 4 : Positionnements éthiques et services écosystémiques, p.91-99).

Face à la richesse épistémologique du concept de biodiversité, l'objectif est de réaliser des études exploratoires qui visent à construire des repères pour penser la scolarisation réalisée et la scolarisation possible du concept de biodiversité (PARTIE II – Etudes de la biodiversité dans le cadre scolaire, p.106-198).

L'approche curriculaire analysera les programmes actuels de sciences et technologie et de sciences de la vie et de la Terre pour tenter de mieux comprendre comment cette très grande richesse épistémologique a été intégrée au sein de disciplines scientifiques scolaires (Partie D - La scolarisation de la biodiversité, approche curriculaire, p.110-159). Cette étude sera l'occasion d'utiliser une méthodologie mixte d'étude de contenu associant une approche qualitative et sur une approche quantitative (Chapitre 5 : Recherches curriculaires et choix méthodologiques, p.112-131). Après avoir présenté les résultats obtenus avec ces deux études (Chapitre 6 : Analyse des programmes actuels de sciences, p.131-155), nous montrerons l'intérêt de cette méthodologie pour mieux identifier les choix réalisés dans la structure du curriculum français. Ceci nous permettra aussi de discuter d'autres choix possibles et des possibles implications des choix réalisés.

Dans un second temps nous présenterons une étude de cas réalisée en classe de Troisième en SVT (Partie E - la scolarisation de la biodiversité, étude de cas sur les conditions d'apprentissages des élèves, p.159-198). Situant notre analyse en didactique des sciences, nous allons présenter le cadre de la problématisation des savoirs mis en avant par Orange, Fabre et leur équipe au sein du CREN de Nantes, reprenant notamment les travaux de Dewey, de Bachelard et de Meyer (Fabre, 1999, 2009; Orange, 2005). Nous présenterons également la méthodologie utilisé pour cette étude de cas (Chapitre 8 : Choix méthodologiques, p.162-174). Nous présenterons également les résultats obtenus dans le contexte d'un enseignement scientifique de la notion de biodiversité en classe de SVT en Troisième (Chapitre 9 : Analyse des productions des élèves obtenues lors de l'étude de cas mise en place en classe de troisième,

p.174-198). L'analyse des séances réalisées en classe montrera la complexité de la construction d'un savoir sur la biodiversité.

Ces deux études, réalisées avec des méthodologies et des objectifs et des corpus variés, font ressortir une tendance à la dichotomie entre les dimensions scientifiques et sociales de la biodiversité. Elles nous amèneront à discuter dans le cadre éducatif de la place possible des valeurs et des savoirs dans la mise en place des comportements pro-environnementaux (Discussion , p.198-210). Cette discussion nous permettra de proposer un modèle didactique qui s'appuie sur une vision problématisée des savoirs environnementaux et nous permettra de montrer l'importance des valeurs pour penser un enseignement scientifique intégrant de possibles actions pro-environnementales.

PARTIE I - Epistémologie de la biodiversité

Le terme biodiversité peut paraître comme une simple contraction de l'expression diversité biologique. Rosen, qui est le premier à utiliser le terme dira, avec humour, que l'invention du terme de biodiversité « *was easy to do: all you do is take the "logical" out of "biological [diversity]"*.²» (Takacs, 1996). Cette phrase n'est pas à prendre au sens premier, car elle témoigne plutôt des échanges et des choix réalisés dans le cadre institutionnel de la conférence pour la protection de l'environnement, mais elle illustre que la biodiversité peut facilement être ramenée à la diversité biologique³. Mais l'apparition de la biodiversité est un véritable changement (Barbault, 2005). Pour Girault et Alpe « [...] il s'agit bien moins d'un changement de nom que d'un changement profond de paradigme [...] » (Girault et Alpe, 2011, p.392).

De nombreux auteurs ont souligné la difficulté, voire l'impossibilité, de définir la biodiversité de manière univoque (Aubertin, Boisvert et Vivien, 1998; DeLong, 1996; Le Guyader, 2008). Il apparaît donc qu'il y a plus d'une façon de considérer ce concept ou de le définir et que la biodiversité n'est pas que la somme de tous les êtres vivants sur Terre. Au-delà des aspects scientifiques, le concept de biodiversité conduit à porter un certain regard sur la diversité du vivant. Comme le souligne Meinard « [...] s'intéresser à la biodiversité, ce n'est pas s'intéresser au tout de la réalité biologique [...] La biodiversité est bien plutôt une part seulement de la réalité biologique, appréhendée sous un certain aspect. » (Meinard, 2010, p.21).

Il faut tout d'abord s'intéresser aux problèmes qui conduisent à la construction de ce concept de biodiversité. Nous présenterons dans les deux premiers chapitres quelques éléments importants du concept de biodiversité et de son évolution d'un point de vue scientifique. Cette

² L'invention du terme de biodiversité « [Traduction libre] était facile à faire : tout ce qu'il y a à faire est de retirer « logique » de « [diversité] biologique » ».

³ Pour plus d'éléments sur le contexte de la naissance de la biodiversité au sein du groupe de préparation de la conférence, voir Takacs (1996).

présentation est fréquemment structurée autour de l'étude de « [...] la variété du vivant étudiée à trois niveaux : les écosystèmes, les espèces qui composent les écosystèmes et, enfin, les gènes que l'on trouve dans chaque espèce⁴ » (Wilson, 2000b, p.14). Nous avons choisi de ne pas utiliser la présentation classique de ces trois niveaux indépendamment dont les conclusions sont souvent largement descriptives et nous semblent passer largement à côté des enjeux épistémologiques. Nous avons donc distingué deux visions principales de la biodiversité qui nous semblent mieux refléter les points de tensions. D'une part, une vision de la biodiversité ordonnée et équilibrée au niveau spécifique et écosystémique qui laisse une large place à une approche descriptive et structurelle de la biodiversité. D'autre part, la vision évolutive qui est plus largement centrée sur une approche historique et dynamique de la biodiversité. Ces deux chapitres réalisent une réflexion épistémologique sur ce qu'est scientifiquement la biodiversité qui intègre des références scientifiques issues en grande majorité de revues scientifiques de biologie. Ce travail basé sur des références primaires nous semble indispensable pour envisager une réflexion didactique sur la question de la biodiversité qui au-delà de son caractère difficilement définissable est aujourd'hui un sujet important de recherches scientifiques au niveau international.

Le troisième chapitre aborde la protection de la biodiversité et les dimensions sociales du concept. En effet, au-delà de ces dimensions scientifiques, la biodiversité naît en réaction à la prise de conscience de la crise environnementale. Le terme biodiversité a été créé lors de la préparation de la *Convention on Biological Diversity* (1992). Le terme biodiversité est donc en lui-même lié à une prise de conscience de sa fragilité qui s'accompagne de l'émergence d'une inquiétude. Il en résulte que la biodiversité est un concept hybride né dans un contexte de prise de conscience

⁴ La définition complète proposée par Wilson (2000) est « La biodiversité est la diversité de toutes les formes du vivant. Pour un scientifique, c'est toute la variété du vivant étudiée à trois niveaux : les écosystèmes, les espèces qui composent les écosystèmes et, enfin, les gènes que l'on trouve dans chaque espèce ».

d'une crise environnementale majeure (Girault et Alpe 2011). Sans vouloir faire un historique, nous mettrons en avant la notion de services écosystémiques qui s'est développée suite au *Millennium Ecosystems Assessment* (2005) et qui occupe aujourd'hui une place très importante dans la mise en place de mesures de protection de la biodiversité. Au-delà de sa présentation, cette approche qui considère l'importance de la biodiversité en termes de services n'est pas sans poser des questions sur les valeurs que véhicule plus ou moins explicitement cette vision de la biodiversité et sur les différentes éthiques environnementales qui y sont reliées. Nous aborderons ces aspects éthiques dans le chapitre 4.

À l'issue de ces quatre chapitres qui permettent de construire un panorama épistémologique de ce qu'est la biodiversité, nous réaliserons un rapide bilan qui nous permettra aussi de mettre en avant que la biodiversité témoigne d'une profonde mutation en cours des objets et des problèmes d'études des sciences biologiques qui se renouvellent, s'anthropisent et se complexifient.

A - Concept scientifique de biodiversité.

1. L'INVENTAIRE NATURALISTE DE LA BIODIVERSITÉ : APPROCHES SPÉCIFIQUE ET ÉCOLOGIQUE

L'activité de dénomination des espèces vivantes et de classification est très ancienne. On retrouve par exemple des traces de cette activité dans la Genèse (TOB, 2010, Genèse 2 : 19-20) : « Le Seigneur Dieu modela du sol toute bête des champs et tout oiseau du ciel qu'il amena à l'homme pour voir comment il les désignerait. Tout ce que désigna l'homme avait pour nom « être vivant ». L'homme désigna par leur nom tout bétail, tout oiseau du ciel et toute bête des champs [...] ». Cependant cette classification du vivant a longtemps été essentiellement utilitaire. La classification du vivant *per se* s'est mise en place au XVIII^e siècle avec divers naturalistes comme Tournefort mais surtout Linné (1707-1778) qui le premier va mettre en place de manière systématique une classification et une nomenclature du vivant⁵ (Gouyon, 2001). Ces travaux vont conduire à un recensement systématique des espèces au XVIII^e siècle. L'inventaire d'abord essentiellement européen va s'internationaliser notamment à travers les explorations coloniales menées par les grandes puissances européennes (Bourguet et Bonneuil, 1999). Suivra rapidement la notion de classification naturelle qui a pour but de comprendre l'ordre intrinsèque de la nature et de le restituer par une classification.

Ainsi se construit une vision de la diversité biologique spécifique comme une collection d'espèces : il suffit d'identifier chacune des espèces pour connaître la diversité biologique. Bien que d'apparence simple, cette approche a généré de nombreux problèmes. L'un des premiers problèmes qui apparaissent est celui de la définition de l'espèce, nous analyserons donc dans

⁵ L'intérêt « scientifique » pour la classification de la diversité du vivant est cependant très ancien et remonte notamment à Aristote (Voultsiadou et Vafidis, 2007).

un premier temps les problèmes spécifiquement liés à la notion d'espèce. Puis nous aborderons la complexité de cette mesure de la (bio)diversité spécifique notamment à travers l'utilisation d'indices de diversité spécifique. Enfin nous montrerons en quoi la diversité spécifique peut être vue comme un indicateur intéressant du fonctionnement des écosystèmes en particulier à travers son possible rôle pour favoriser la résistance et la résilience des systèmes écologiques.

1.1. Le concept d'espèce

Le concept d'espèce est à la fois l'un des plus utilisés en biologie et l'un des plus difficiles à définir. Notre objectif n'est pas ici de réaliser une analyse épistémologique exhaustive du concept d'espèce ce qui serait un travail considérable comme Caplan l'a souligné en 1980 : « *There is no more popular pastime in the literature of the philosophy of biology than analysing the concept of species.*⁶ » (Caplan, 1980, p.71)

Cependant, il nous faut présenter rapidement quelques éléments essentiels de réflexion sur la notion d'espèce qui sont directement liés à la biodiversité et à sa protection. Nous développerons ici deux visions de l'espèce (typologique et populationnelle), mais il faut dès à présent signaler qu'une troisième vision de l'espèce sera abordée dans le second chapitre.

1.1.1. Vision typologique de l'espèce : l'espèce taxonomique linnéenne

Il est simple de constater qu'il existe dans la nature des groupes d'organismes identifiés par leur similitude et que l'on reconnaît comme espèces. Sur cette base, Linné (1707-1778)

⁶ « [Traduction libre] Il n'y a pas de passe-temps plus populaire dans la littérature sur la philosophie de la biologie que d'analyser le concept d'espèce »

considère qu'il n'existe dans la nature qu'un nombre limité de types dont les individus sont la matérialisation imparfaite⁷. Cette typologie est d'origine divine et elle est immuable : « Il y a autant d'espèces que de formes diverses produites dès le début par l'être infini » (Linné, 1738, cité par Lecointre, Fortin, Guillot et Le Louarn-Bonnet, 2009). Ainsi, dans ce cadre de pensée typologique, l'espèce correspond à une catégorie essentielle et il semble intéressant d'étudier la morphologie et l'anatomie des espèces pour les nommer grâce à la nomenclature binomiale.

Cette vision de la classification du vivant va donner naissance à un système de codes internationaux de nomenclature qui fixe les règles pour nommer les espèces (Dubois, 2008). Depuis 1842, le « code de Strickland » propose que pour caractériser l'espèce, il faille fournir un type (squelette, spécimen préservé dans l'alcool, planche d'herbier, etc.) qui sert de référence représentant ce qui est perçu comme l'essence de l'espèce (Tillier, 2005). Ceci a donné naissance à l'expression de nomenclature "LinnéenneStricklandienne" proposée par Dubois (Dubois, 2006).

Ces espèces typologiques peuvent ensuite être regroupées en différentes catégories hiérarchiques allant du règne à l'espèce⁸. Ainsi, la classification de l'Ours polaire peut être représentée ainsi :

⁷ Une des visions anciennes de la vie est très liée à celle des objets inanimés et c'est l'ensemble qui est considéré de manière unitaire. Cette vision est évidemment très présente dans l'Antiquité mais elle ne disparaît pas facilement par la suite. Au XVII^{ème} siècle existait encore l'idée de la naissance d'un organisme à partir d'un organisme d'un autre type comme l'illustre la légende de la Mandragore qui est censée naître de la semence des pendus innocents (Goullé, Pépin, Dumestre-Toulet et Lacroix, 2004). Bien sûr, il y a dans ces descriptions une part importante de tradition mais la persistance de ces croyances illustre bien l'absence d'une notion clarifiée de l'espèce à la fin du XVII^{ème} siècle (Gouyon, 2001).

⁸ Il faut attendre la dixième édition de *Systema Naturae* pour que Linné généralise la nomenclature binomiale des espèces encore en place aujourd'hui. Une version numérisée de cet ouvrage (en latin) est disponible en ligne : Linné, C. v. (1758). *Caroli Linnaei...Systema naturae per regna tria naturae : secundum classes, ordines, genera, species, cum*

Règne : *Metazoa*

Embranchement : *Chordata*

Classe : *Mammalia*

Ordre : *Carnivora*

Famille : *Ursidae*

Genre : *Ursus*

Espèce : *Ursus maritimus*

Cependant, le système typologique de Linné est fondé sur le principe qu'il existe des conditions nécessaires et suffisantes pour l'appartenance d'un organisme à une espèce et que chaque espèce est objectivement distincte des autres et donc identifiable morphologiquement. Ceci n'est évidemment pas toujours le cas (Figure 1). La littérature scientifique a identifié de nombreuses espèces différentes mais morphologiquement indissociables (on parle d'espèces cryptiques) depuis les années 1970 (Bickford et al., 2007).

De plus, reconnaître l'existence de discontinuités morphologiques permettant d'identifier et de nommer des espèces ne signifie pas que ces discontinuités ont une valeur propre. Darwin avait affirmé 1856 dans une lettre adressée à Hooker que les difficultés à définir l'espèce viennent « [...] je suppose, de ce que l'on essaie de définir l'indéfinissable. » (cité par Duris et Gohau (2011)). Mayr (1904-2005) va aussi mettre en avant cette question de la valeur propre de l'espèce avec une vision populationnelle que nous allons développer.

	Mâles en vue dorsale	Femelles en vue dorsale	Mâles en vue ventrale	Femelles en vue ventrale
<i>P. adela</i>	 1	 2	 3	 4
<i>P. poaceaphaga</i>	 5	 6	 7	 8
<i>P. geonomaphaga</i>	 9	 10	 11	 12
<i>P. prestoeaphaga</i>	 13	 14	 15	 16

Figure 1 : Quatre espèces cryptiques chez des papillons illustrant la difficulté de distinguer ce type d'espèces sur la base de critères morphologiques (tiré de Burns, Janzen, Hajibabaei, Hallwachs et Hebert (2008)).

1.1.2. Vision populationnelle de l'espèce : l'espèce biologique

Mayr va vivement attaquer la vision typologique de l'espèce, qu'il juge fixiste, au profit d'une définition dite biologique de l'espèce qui ne fait aucune mention à des critères morphologiques : « *species are groups of actually or potentially interbreeding natural populations, which are reproductively isolated from other such groups.*⁹ » (Mayr, 1942, p.120). Cette définition biologique met en avant l'importance de la population et de l'isolement reproductif¹⁰. Elle a généré de très nombreux travaux pour identifier les facteurs d'isolement reproductif (Tableau 1).

⁹ « [Traduction libre] Les espèces sont des groupes de populations naturelles réellement ou potentiellement interféconds, qui sont reproductivement isolés d'autres groupes. »

¹⁰ On nomme mécanisme d'isolement reproductif tout mécanisme empêchant la reproduction à cause de l'existence de propriétés biologiques d'individus qui empêchent le croisement entre populations réellement ou potentiellement sympatriques.

Tableau 1 : Les différents types de mécanismes d'isolement reproductif¹² (d'après Coyne et Orr (2004)).

Barrières précopulatoires	Isolement comportemental ou éthologique : les individus des deux espèces ne se reconnaissent pas	
	Isolement écologique	Par l'habitat : espèces dans des habitats distincts
		Dans le temps : périodes de reproduction non synchrones
		Par le vecteur du pollen : vecteurs du pollen différents
Barrières postcopulatoires prézygotiques (pas de fécondation)	Isolement comportemental : Le comportement lors de la copulation empêche la réalisation de la fécondation	
	Isolement gamétique : les gamètes ne réalisent pas la fécondation pour des problèmes de « stockage », de transport ou de non reconnaissance membranaire	
Barrières postcopulatoires postzygotiques (fécondation possible)	Extrinsèques	Non viabilité écologique de l'hybride
		Stérilité comportementale de l'hybride (incapacité à attirer un partenaire sexuel...)
	Intrinsèques	Hybrides non viables
		Hybrides stériles

Le fait de ne retenir que l'isolement reproductif pour définir une espèce n'est cependant pas si évident¹¹. Par exemple, l'importance de la dimension écologique avait déjà été mise en avant par Darwin (Acot, 1983). Ceci sera repris notamment par Van Valen (1976) qui va proposer une définition écologique de l'espèce¹² : « *A species is a lineage (or a closely related set of lineages) which occupies an adaptive zone minimally different from that of any other lineage in its range and which evolves separately from all lineages outside its range.*¹³ » (Van Valen, 1976, p.233). Il minimise la place de la reproduction dans la définition de l'espèce. « *Species are maintained for the most part ecologically, not reproductively.*¹⁴ » (Van Valen, 1976, p.235). Van Valen utilise le terme « *adaptive zone* » qu'il définit « [...] *some part of the resource space together with whatever predation and parasitism occurs on the group considered. It is a part of the environment, as distinct from the way of life of a taxon that may occupy it, and exists independently of any inhabitants it may have.*¹⁵ » (Van Valen, 1976, p.234). Cette *adaptive zone* conduirait au maintien d'une réponse adaptative commune des individus d'une espèce et donc à leur similitude morphologique.

¹¹ De plus l'isolement reproductif pose problème pour certains modes de reproduction. Nous ne discuterons cependant pas ici des aspects liés à la reproduction asexuée ou au transferts horizontaux de gènes qui sont peu abordés dans le contexte scolaire.

¹² La définition écologique de Van Valen possède aussi une dimension phylogénétique puisqu'elle se réfère à la notion de lignage

¹³ « [Traduction libre] Une espèce est une lignée (ou un ensemble étroitement lié de lignées) qui occupe une zone d'adaptation minimale différente de celle de toute autre lignée dans sa gamme et qui évolue séparément de toutes les lignées en dehors de sa gamme. »

¹⁴ « [Traduction libre] Les espèces se maintiennent essentiellement écologiquement et non par isolement reproductif. »

¹⁵ « [Traduction libre] une partie de l'espace des ressources et en même temps de la prédation et du parasitisme qui se produit sur le groupe considéré. C'est une partie de l'environnement, distinct du mode de vie d'un taxon qui peut l'occuper, et qui existe indépendamment de tous les habitants qu'il peut avoir. »

Mayr va intégrer cette réflexion en ajoutant la dimension écologique à travers le terme de niche écologique qui peut être rapprochée de l'*adaptive zone* de Van Valen. Ainsi, la seconde définition de l'espèce de Mayr est: « *Reproductive isolation, however, is only one of the two major characteristics of the species. Even the earliest naturalists had observed that species are restricted to certain habitats, and that each species fits into a particular niche.*¹⁶ » (Mayr, 1982, p.274). Cet ajout à la définition de 1942 est loin d'être anodin car il donne tout son sens à l'isolement reproducteur. La définition biologique de l'espèce peut être caractérisée par certaines associations de gènes (c'est un pool de gènes). L'isolement reproducteur permet d'éviter que cette association harmonieuse de gènes, indispensable à l'exploitation de la niche, et donc à la survie des individus et de leurs descendants, ne soit perturbée par des gènes issus d'autres espèces dont le pool de gènes est adapté à d'autres conditions écologiques. Au-delà de ces évolutions, la définition biologique de l'espèce reste malgré tout largement rattachée à la notion d'isolement reproductif entre populations. Cette définition est aujourd'hui souvent présentée comme la définition « classique » de l'espèce en particulier dans le cadre de la théorie de l'évolution biologique. La mise au centre de la définition de l'espèce de la notion de population correspond, pour Mayr, à un nouveau mode de pensée qu'il nomme « pensée populationnelle » : « *The ultimate conclusions of the population thinker and of the typologist are precisely the opposite. For the typologist the type (eidos) is real and the variation an illusion, while for the populationist, the type (average) is an abstraction and only the variation is real. No two ways of looking at nature could be more different.*¹⁷ » (Mayr, 1975, p.326-327).

¹⁶ « [Traduction libre] L'isolement cependant, est seulement une des deux caractéristiques principales de l'espèce. Même les premiers naturalistes ont observé que les espèces sont limitées à certains habitats, et que chaque espèce occupe une niche particulière. »

¹⁷ « [Traduction libre] Les conclusions ultimes d'une pensée populationnelle et typologique sont exactement opposées. Pour le typologiste, le type (eidos) est réel et la variation une illusion, alors que pour le populationniste, le type (moyenne) est une abstraction et seule la variation est réelle. Ces deux façons de regarder la nature ne pourrait être plus différente. »

Mayr reprend ainsi dans le cadre de la biologie la critique de l'essentialisme de Popper¹⁸ qui a critiqué l'essentialisme dans le sens où il s'intéresse à la définition des objets plutôt qu'aux problèmes. Mais là où la critique de Popper est une critique générale de l'essentialisme, l'anti-essentialisme de Mayr est un « anti-essentialisme local » dans le cadre de la théorie de l'évolution biologique (Sober, 1980). Pour Popper, l'essentialisme est une conception de la science consistant à expliquer les phénomènes par des assertions sur « la nature essentielle des choses » ; pour Mayr, l'essentialisme est une conception erronée de la nature vivante, qui néglige ou méconnaît la variabilité populationnelle et l'évolution, et privilégie les « types » (Sober, 1980). Pour Mayr le terme « essentialisme » est donc un synonyme de « pensée typologique » plutôt qu'une conception générale de la connaissance scientifique au sens Poppérien. La lecture que certains ont faite de Mayr peut même conduire à une approche essentialiste, car, en dépit de leur anti-essentialisme affiché, certains biologistes contemporains ont consacré beaucoup de temps à des questions de définition. Ils ont ainsi jugé fondamental de s'intéresser à la définition de l'espèce plutôt qu'aux problèmes que pose cette notion.

Mais il serait inexact de croire que les réflexions sur la notion populationnelle de l'espèce sont *per se* essentialistes. En biologie, ce qui légitime les concepts populationnels, ce ne sont pas des définitions, mais des modèles théoriques qui expriment des relations de nature nomologique entre des concepts populationnels (Sober, 1980).

Ces concepts sont le plus souvent des concepts quantitatifs, c'est-à-dire des grandeurs, telles que les fréquences génétiques (fréquences alléliques et fréquences génotypiques), l'effectif efficace de population (si important pour les modèles de dérive génétique aléatoire), le taux

¹⁸ Gayon (2012) précise que Mayr a utilisé le terme « essentialisme » en citant Popper dans deux textes en 1968 et 1969 mais qu'après 1969, Mayr a continué à utiliser le terme « essentialisme » en l'intégrant à sa réflexion comme une vision personnelle de ce terme et sans citer Popper.

de mutation récurrente, le taux de sélection, le taux de migration, etc. Moyennant des modèles théoriques, ces grandeurs sont mises en relation et conduisent à des prédictions sur l'évolution de la population. « [...] le point important est que ce sont les modèles théoriques qui confèrent un sens à la notion même de population, et non des définitions constitutives. » (Gayon, 2012, p.135).

C'est cela qui permet à la définition biologique de l'espèce de dépasser l'essentialisme. Il convient de préciser quelques éléments sur le modèle théorique auquel se réfère l'approche populationnelle portée par la définition biologique de l'espèce. Ce concept est fondé sur l'interstérilité, constatée entre des individus de populations coexistant en un même lieu au même moment. C'est un concept « non-dimensionnel », au sens où il ne réfère pas à un ensemble d'individus déployés dans un espace et un temps défini. Le concept biologique est relationnel : « L'essence de ce concept est une relation entre des populations naturelles qui coexistent dans un système non-dimensionnel, c'est-à-dire dans la même localité et au même moment » (Mayr, 1957, cité par Gayon, 2012). Il ne dit pas ce qu'est une espèce, mais fournit un critère opérationnel (l'étude des flux génétiques) pour décider si des individus appartiennent à la même espèce (Gayon, 2012).

Si on met de côté ces discussions sur le concept d'espèce, mesurer la biodiversité spécifique pourrait paraître simple. Il suffit de compter le nombre d'espèces présentes en un endroit donné. Cependant, il apparaît rapidement que la seule richesse en espèces n'est pas toujours très adaptée pour construire un indice de biodiversité, car la régularité de la distribution des espèces (équitabilité en français, *evenness* ou *equitability* en anglais) est un élément important de la diversité. Gosselin (2014) propose une analogie basée sur deux magasins de chaussures pour comprendre ce phénomène. Il indique que, dans la vie courante, on considérera intuitivement qu'un magasin qui propose 50 modèles différents, mais n'a qu'une paire de chaussures pour 49 modèles et 10 paires pour un modèle est moins diversifié qu'un magasin qui aurait aussi 50 modèles différents, mais avec 5 paires pour chaque modèle. (Gosselin, 2014).

On comprend donc intuitivement que le maximum de diversité sera atteint quand les espèces auront une répartition très régulière c'est-à-dire que chaque espèce sera représentée par un

nombre à peu près équivalent d'individus. Ainsi, pour « mesurer » la diversité spécifique il faut prendre en compte deux aspects fondamentaux : le nombre d'espèces et l'équitabilité de leur répartition. Ceci va donner naissance à un courant théorique important qui va chercher à mettre au point des méthodes mathématiques de mesure de la diversité basée sur des indices de diversité biologique.

1.2. Indices de mesure de la diversité spécifique

On considère en général que c'est la publication en 1943 de l'article « *The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population.*¹⁹ » (Fisher, Steven Corbet et Williams, 1943), qui est à l'origine du développement des indices qui cherchent à rendre compte sous forme de valeur(s) numérique(s) de la diversité biologique. Après avoir présenté la mesure de la richesse spécifique et les difficultés qu'elle pose²⁰, nous discuterons de deux indices de diversité spécifique courants : les indices de Simpson et de Shannon. Enfin, nous réaliserons un bilan des problèmes posés par les mesures de la diversité.

¹⁹ « [Traduction libre] La relation entre le nombre d'espèces et le nombre d'individus dans un échantillon aléatoire d'une population animale. »

²⁰ Classiquement, on présente également les variations de l'estimation de la diversité spécifique selon l'échelle à laquelle on la considère. On distingue généralement :

- la diversité Alpha : la diversité spécifique dans un milieu donné.
- la diversité Beta : le taux de remplacement des espèces le long d'un gradient
- la diversité Gamma : la diversité spécifique pour un même type de milieu échantillonné en différents endroits.

Ces éléments ne seront pas traités car ils ne modifient pas notre analyse épistémologique de la diversité spécifique dans le cadre de notre travail.

1.2.1. La richesse spécifique

De manière naïve, il est possible de représenter la diversité spécifique par le nombre d'espèces présentes²¹. C'est la classique richesse spécifique – la richesse en espèces – représentée par l'indice S .

$$S = \text{nombre d'espèces présentes dans le milieu}$$

Bien que semblant très simple, l'indice S fait implicitement l'hypothèse d'une totale équitabilité entre espèces. C'est donc la mesure qui donne le plus d'importance aux espèces rares, car toutes les espèces ont la même valeur, quel que soit leur effectif en termes d'individus. Il correspond à l'approche d'un collectionneur qui considère que tout ce qui vient agrandir la collection a un intérêt en soi (en particulier ce qui est le plus rare).

De plus, dans un lieu donné, le risque de ne pas trouver certaines espèces rares, et donc de sous-estimer la diversité biologique, est très important. Si la surface qui a été échantillonnée n'est pas suffisante pour rencontrer toutes les espèces présentes dans un lieu donné, ceci induira un biais d'échantillonnage. Face à ce problème, deux approches principales existent (Bunge et Fitzpatrick, 1993):

- À partir d'un certain nombre d'hypothèses, on détermine un modèle mathématique qui permet de déterminer le lien entre effort d'échantillonnage et nombre d'espèces

²¹ Au-delà de sa mesure, cette richesse spécifique pose également le problème de son incroyable étendue notamment depuis les travaux de Erwin qui traite un arbre de la forêt amazonienne avec un insecticide (Erwin, 1982). Après avoir récupéré les arthropodes, il les trie et les classe. Le nombre d'espèces atteint est prodigieux puisqu'un seul arbre contient à peu près autant d'espèces d'insectes que tout le continent nord-américain (Le Guyader, 2008).

identifiées. Il ne reste plus qu'à ajuster les paramètres à partir des données mesurées pour obtenir une estimation de la richesse spécifique.

- L'autre approche consiste à se baser directement sur les données pour l'ajuster à une loi de distribution d'une variable aléatoire par des méthodes d'estimation « classiques » ou non paramétriques.

Ce problème des biais d'échantillonnage devient encore plus préoccupant quand on cherche à comparer différents milieux car il n'y a aucune raison pour que les biais d'échantillonnage soient les mêmes²². Pour améliorer la mesure de la biodiversité et limiter les biais d'échantillonnage, de très nombreux indices de diversité²³ ont été proposés qui cherchent à unir la mesure en termes de diversité spécifique. Deux indices sont principalement utilisés : l'indice de Shannon-Weaver et l'indice de Simpson (Ricklefs et Miller, 2005).

²² (Gotelli et Colwell, 2001) proposent un exemple hypothétique montrant les possibles effets sur la richesse spécifique du biais d'échantillonnage. Dans cet exemple, on imagine deux parcelles forestières ayant exactement la même richesse spécifique. Même si les deux parcelles ont la même diversité spécifique, la différence de densité entre les deux parcelles entraîne un biais différent pour un même effort d'échantillonnage.

²³ Bien que des auteurs comme (Tuomisto, 2010) aient proposé dans un souci de clarification que le terme diversité soit réservé à la vraie diversité (homogène à un nombre d'espèces) et que les autres mesures soient appelées différemment : « entropie » de Shannon ou « probabilité » de Simpson notamment, l'usage du terme « indice de diversité » au sens large est resté la règle et c'est en ce sens qu'il sera utilisé dans ce travail.

1.2.2. Les indices de diversité spécifique de Simpson et de Shannon

Ces deux indices utilisent la proportion des individus de chaque espèce. Si on considère une espèce i , cette proportion, notée p_i , est estimée simplement en divisant le nombre d'individus de l'espèce i , par le nombre total d'individus de toutes les espèces²⁴.

L'indice de Simpson (1949) détermine la probabilité que deux individus n'appartiennent pas à la même espèce. Cet indice varie entre 0 pour une diversité maximale, et 1 pour une diversité minimale. Ainsi, plus l'indice est faible, plus la diversité est grande.

$$E = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

Indice de Simpson

i : une espèce

p_i : Proportion des individus de l'espèce i par rapport au total

²⁴ Ceci correspond pour une communauté de très grande (taille considérée comme infinie) à $p_i = \frac{n_i}{N}$ avec n_i le nombre d'individus de l'espèce i et N le nombre total d'individus de toutes les espèces.

L'indice de Shannon va utiliser une approche de l'entropie issue de la théorie de l'information pour mesurer l'incertitude d'une source d'information (Shannon, 1948). L'indice de Shannon estime l'incertitude dans la capacité de prédire l'identité du prochain individu sélectionné aléatoirement. Plus l'incertitude est forte, plus la diversité est grande.

Indice de Shannon	$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 (p_i)$ i : une espèce p_i : Proportion des individus de l'espèce i par rapport au total
-------------------	--

Peet (1974) a classé les indices de diversité spécifique en deux catégories en utilisant des simulations :

- L'indice de Shannon dans les indices de type I, sensibles aux variations d'importance des espèces les plus rares. En effet l'indice de Shannon utilise un logarithme qui « compense » en partie la rareté de certaines espèces. Il est beaucoup plus sensible aux variations de l'importance des espèces rares mais il est donc aussi beaucoup plus sensible aux biais d'échantillonnage.
- L'indice de Simpson dans les indices de type II, sensibles aux variations d'importance des espèces les plus abondantes. L'approche probabiliste utilisée, basée sur le carré de la proportion des individus, conduit à une contribution très faible des espèces rares présentes en faible proportion. Ceci est très positif pour le biais d'échantillonnage qui devient très faible mais conduit à valoriser fortement l'importance des espèces les plus courantes.

1.2.3. Bilan et problèmes posés par la mesure de la diversité spécifique

Nous venons très rapidement de présenter quelques éléments sur la mesure de la diversité spécifique. De nombreux autres indices ont été créés, correspondant à des approches variées, probabilistes, informatiques... Ce travail de développement d'indices commencé par Fisher et al. (1943) s'est poursuivi²⁵ et aujourd'hui la complexité méthodologique des indices de biodiversité est telle que certains travaux s'intéressent à la diversité des indices de diversité (voir par exemple, (Ricotta, 2007)). Ce foisonnement d'indices a conduit certains auteurs à remettre en cause leur utilisation. Hurlbert (1971) va même affirmer que la diversité spécifique est un « non-concept » :

[...] community ecologists have put much effort into the mathematical and statistical refinement of these indices, the devising of new indices, the calculation of diversity for various collections of organisms, and the correlation of diversity with other variables. These efforts have sometimes been at the expense of more substantive approaches to community ecology. The term "species diversity" has been defined in such various and disparate ways that it now conveys no information other than "something to do with community structure"; species diversity has become a nonconcept²⁶. (Hurlbert, 1971, p.577).

Cette critique des indices de diversité spécifique est cependant différente selon que l'on s'intéresse à leur mise au point ou à leur utilisation. En effet, si, comme Hurlbert l'affirme, il

²⁵ Ceci a aussi conduit au développement d'un certain nombre de travaux qui ont cherché à unifier les indices de diversité biologique notamment par l'utilisation des nombres de Hill (pour un exemple récent qui cherche à unifier différentes sortes de diversité par l'utilisation des nombres de Hill, voir Chao, Chiu et Jost (2014)).

²⁶ « [Traduction libre] [...] Les écologistes des communautés ont consacré beaucoup d'efforts au raffinement mathématique et statistique de ces indices, à l'élaboration de nouveaux indices, au calcul de la diversité pour des collections d'organismes variés et à la corrélation de la diversité avec d'autres variables. Ces efforts ont parfois été fait au détriment d'approches plus substantielles de l'écologie des communautés. Le terme « diversité des espèces » a été défini de façon si diverse et si disparate qu'il ne contient plus d'information autre que « quelque chose qui a à voir avec la structure de la communauté » ; la diversité des espèces est devenue un non-concept »

existe aujourd'hui des définitions nombreuses et disparates de la diversité spécifique, la plupart peinent à trouver une application dans les études écologiques de terrain. Ainsi Kampichler et Wieland (2014) indiquent que malgré leur intérêt, la plupart de ces approches restent minoritaires dans les publications par rapport à l'indice de Shannon²⁷.

En fait, la principale question qui se pose est celle du sens que l'on peut donner aux indices de diversité spécifique les plus courants. Les efforts portés sur la mise au point et l'analyse d'indices de diversité ont plus conduit à comprendre comment ces indices fonctionnent qu'à se poser la question de leur sens biologique (Lambshead, Platt et Shaw, 2007). Ainsi, peu de travaux soulignent le fait que ces indices partagent tous un présupposé fort qui est de considérer que la diversité augmente de la même manière quand on rajoute une espèce, que cette espèce soit proche des précédentes ou extrêmement originale, qu'elle ait un grand rôle écologique dans le milieu ou non. De plus l'intégration de l'équitabilité minimise toujours la contribution des espèces rares « *[which may] play a substantial role in the ecosystem*²⁸ » (Sager et Hasler, 1969).

À l'issue de cette rapide analyse, nous avons pu faire ressortir de nombreuses limites des indices de diversité spécifique. Pourtant, depuis 75 ans, de nombreux travaux de recherche se sont intéressés à ces indices. Cet attrait vient de l'idée que, malgré la difficulté à obtenir un indice fiable et malgré toutes les limites des indices utilisés, la diversité spécifique est un

²⁷ Ces auteurs montrent que les outils issus de la *partially ordered set theory* (poset) dont les courbes de diversité permettent de compléter ou de remplacer les indices de diversité biologiques « classiques ». Cependant, une comparaison réalisée sur *ISI Web of Knowledge* entre 2005 et 2009 n'identifie que 30 articles dans le domaine de l'écologie et de l'environnement qui utilisent les courbes de diversité alors que pour la même période 115 papiers n'utilisent que l'indice de Shannon.

²⁸ « [Traduction libre] qui peuvent jouer un rôle important dans l'écosystème. »

indicateur important. Nous développerons dans la prochaine partie les arguments qui ont été avancés pour relier la diversité spécifique avec plusieurs aspects importants du fonctionnement des systèmes écologiques.

1.3. Diversité spécifique, stabilité des écosystèmes et approche fonctionnelle

Pour des raisons historiques et méthodologiques, l'équilibre représente une notion fondamentale en écologie. C'est sur cette base que se sont construites les réflexions sur le rôle de la diversité spécifique. Nous traiterons donc dans un premier temps de quelques éléments de cette notion avant d'aborder la stabilité qui en découle. Puis nous développerons quelques éléments sur les notions de résistance et de résilience écologique. Enfin nous aborderons l'approche fonctionnelle qui a émergé au cours des années 1990 et qui constitue aujourd'hui l'un des points de discussion majeurs dans le cadre des débats sur la biodiversité.

1.3.1. Équilibre, diversité spécifique et stabilité

NOTION D'ÉQUILIBRE

L'idée selon laquelle les systèmes biologiques sont « naturellement » à l'équilibre, correspondant à une forme d'harmonie de la nature, est une idée ancienne : « *The premise that there is a "balance of nature" has been a tradition in Western thought dating back to antiquity*²⁹ ». (DeAngelis et Waterhouse, 1987). On retrouve cette idée chez les premiers biologistes comme Linné qui parle d' « *oeconomia naturae* » et qu'il présente ainsi :

²⁹ « [Traduction libre] Les prémisses d' un « équilibre de la nature » sont une tradition dans la pensée occidentale qui remonte à l'antiquité. »

To perpetuate the established course of nature in a continued series, the divine wisdom has thought fit, that all living creatures a natural order, given by divine providence, to should constantly be employed in producing individuals, that all natural things should contribute and lend a helping hand towards preserving every species, and lastly that the death and destruction of one thing should always be subservient to the restitution of another³⁰ (Linné, 1759, cité par Egerton, 1973).

Cette idée d'équilibre de la nature a progressivement été intégrée sous la forme de prédictions testables dans le cadre du fonctionnement des systèmes biologiques (Wu et Loucks, 1995). Ceci correspond à ce que DeAngelis et Waterhouse ont appelé « *equilibrium view* » (1987), c'est-à-dire que les populations naturelles tendent vers un équilibre (voir Egerton (1973) et Wu et Loucks (1995) pour une présentation de l'historique de cette vision en biologie). Bien sûr, dans ce cadre de pensée, cet équilibre peut être soumis à des perturbations, ou subir des oscillations, mais elles restent marginales. Ceci conduit à une vision des systèmes naturels, composée de cycles qui répètent les mêmes phases et non d'événements historiques qui désignent le chemin suivi parmi tous ceux qui auraient pu l'être. L'hétérogénéité spatiale et temporelle ainsi que la contingence³¹ historique ne jouent qu'un rôle restreint.

On retrouve également cette vision dans les premières démarches de modélisation mathématique des populations. C'est le cas par exemple des équations de Lotka-Volterra qui déterminent assez facilement un état d'équilibre stable entre une population de proies et une

³⁰ « [Traduction libre] Pour perpétuer le cours de la nature dans une série continue, la sagesse divine a jugé que tous les êtres vivants doivent constamment être utilisés dans la production de nouveaux individus, que toutes les choses naturelles devraient contribuer à la préservation de toutes les espèces, et enfin que la mort et la destruction d'une chose doit toujours être subordonnée à la restitution d'un autre. »

³¹ D'une manière générale, on appelle contingent un fait qui pourrait ne pas être, qui n'est pas la conséquence d'une loi générale.

population de prédateurs³²: « *the equilibria in nature, involving countless species, are of course much more complicated in character, but the general principle is the same; and we must expect that in general a variety of different equilibria are possible, some unstable and some stable* »³³ (Lotka, 1925, p.60). Mais, en plus de la notion d'équilibre, les modèles mathématiques font aussi intervenir une autre notion, celle de stabilité que nous allons présenter dans la prochaine partie.

STABILITÉ ET DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE

La notion de stabilité en biologie est complexe. Il est cependant possible de représenter de manière simplifiée la relation entre équilibre et stabilité (Figure 2). Au niveau écologique, l'idée que la stabilité d'une communauté est fonction de la complexité de celle-ci a une double origine théorique et empirique et s'est formalisée dans les années 1950³⁴. Ainsi dans son livre « *Ecology of Invasions by Animals and Plants* » Elton affirme: « *simple communities were more easily upset than that of richer ones; that is, more subject to destructive oscillations in populations, and more vulnerable to invasions.* »³⁵ (Elton, 1958, cité par McCann, 2000).

³² Cette centration sur les équilibres dans les modèles mathématiques est liée à l'"*equilibrium view*" mais aussi à une contrainte méthodologique : pour étudier le fonctionnement d'un modèle d'équations différentielles, on cherche les points d'équilibre du modèle c'est à dire les conditions pour lesquelles la densité de la population reste constante.

³³ « [Traduction libre] les équilibres dans la nature, impliquant d'innombrables espèces, ont bien sûr un caractère beaucoup plus compliqué, mais le principe général est le même ; et nous devons nous attendre à ce que, en général, une variété d'équilibre différents soient possibles, certains instables et d' autres stables. »

³⁴ Pour un bon aperçu en français des différentes évolutions et des principaux travaux voir (Blandin, 2014)

³⁵ « [Traduction libre] Les communautés simples étaient plus facilement bouleversées que celles des plus riches ; soit plus soumises à des oscillations destructrices des populations, et plus vulnérables aux invasions »

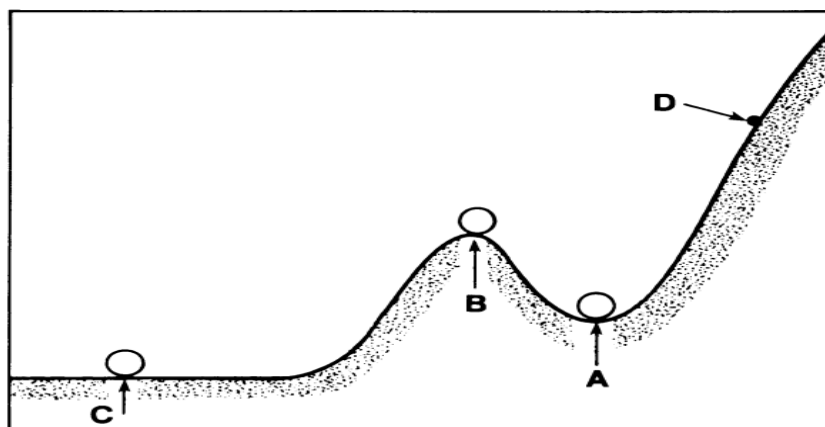


Figure 2 : Illustration de la relation entre équilibre et stabilité (d'après DeAngelis et Waterhouse (1987)). Le point A est un point d'équilibre stable car peu sensible aux perturbations, B est un point d'équilibre instable car toute perturbation va rompre l'équilibre

D'un point de vue théorique, l'affirmation que la stabilité d'une communauté est fonction de la complexité de celle-ci en termes d'interactions trophiques a été initialement portée par MacArthur (1955). Il développe une fonction, du type de celle développée par Shannon (1948), liant la diversité des voies de circulation de l'énergie au sein d'un réseau trophique à la stabilité de celui-ci. Il en conclut que la diversité spécifique est un indicateur de la stabilité : « *Where there is a small number of species (e.g. in arctic regions) the stability condition is hard or impossible to achieve [...]. If the number of species is too small, even this will not assure stability, and, as in the Arctic, populations will vary considerably. Where there is a large number of species (e.g. in tropical regions) the required stability can be achieved [...]*³⁶. » (MacArthur, 1955)

³⁶ « [Traduction libre] Là où il y a un petit nombre d'espèces (par exemple dans les régions arctiques) la condition de stabilité est difficile, voire impossible, à atteindre [...]. Si le nombre d'espèces est trop faible, cela ne va même pas assurer la stabilité, et, comme dans l'Arctique,

Cependant, de nombreux travaux successifs vont semer le trouble sur cette idée d'un équilibre stable des systèmes naturels. Cette idée d'une relation positive entre diversité spécifique et stabilité a connu de nombreuses évolutions qui n'ont pas résolu la question : « *Different theoretical results contradicted each other, empirical results were inconsistent, and theoreticians and empiricists often disagreed*³⁷ (Ives et Carpenter, 2007, p.58) ». En 1995, (Wu et Loucks) proposent une synthèse des travaux menés depuis l'idée originale d'une nature à l'équilibre, correspondant à une forme d'harmonie (*balance of nature*) qui met en évidence des approches d'équilibres multiples et de dynamiques spatiales dites en « patches » (Tableau 2). Cette approche plus complexe de métastabilité basée sur des interactions à différentes échelles constitue une autre manière d'appréhender la question : « *The metastability suggested by hierarchical patch dynamics differs theoretically and structurally from the static stability implied by both the balance of nature and the classical equilibrium paradigm. [...] Metastability is dependent on the presence of and interaction among spatial, temporal and organizational scales*³⁸. » (Wu et Loucks, 1995, p.460). Cette prise en compte des échelles spatio-temporelles est encore étudiée dans des travaux actuels. Wang et Loreau (2016) montrent par exemple par un modèle théorique un lien entre la diversité en espèces et la variabilité des écosystèmes qui dépend de l'échelle à laquelle se fait l'étude.

les populations vont varier considérablement. Là où il y a un grand nombre d'espèces (par exemple dans les régions tropicales) la stabilité requise peut être atteinte [...]. »

³⁷ « [Traduction libre] Les différents résultats théoriques se contredisaient les uns les autres, les résultats empiriques étaient incohérents, et théoriciens et empiristes étaient souvent en désaccord »

³⁸ « [Traduction libre] La métastabilité suggérée par la dynamique en patch hiérarchique diffère théoriquement et structurellement de la stabilité statique impliquée à la fois par l'équilibre de la nature et le paradigme d'équilibre classique. [...] La métastabilité dépend de la présence et des interactions entre les échelles spatiales, temporelles et organisationnelles »

La question des liens diversité/équilibre/stabilité n'est donc toujours pas résolue aujourd'hui. Mais d'un point de vue épistémologique, au-delà des résultats nombreux et souvent contradictoires, cette évolution a aussi fait naître une autre manière de considérer le rôle de la diversité à travers le développement de la vision d'écosystèmes soumis à des perturbations qui pourraient potentiellement remettre en cause leur stabilité apparente. Nous allons présenter quelques éléments du rôle possible de la diversité spécifique face aux perturbations dans notre prochaine partie.

Tableau 2 : Comparaison de différents liens entre équilibre et stabilité, d'après Wu et Loucks (1995).

	«Balance of Nature»	Équilibre Stabilité	Non équilibre Instabilité	Multiples équilibres Homéorhésie	Dynamique hiérarchique multi-patches
Principales approches initiales	Croyance	Théorique et mathématique	Empirique et mathématique	Mathématique et empirique	Théorique et empirique
Possibilités de tester	Non	Oui	Oui	Oui mais difficilement	Oui

1.3.2. Perturbations, diversité spécifique et fonctionnelle

Face au développement de la prise en compte des perturbations dans les écosystèmes, il est nécessaire de clarifier ce que peut être la stabilité. En 1973, Holling propose une clarification conceptuelle majeure, en distinguant la stabilité, qui représente la capacité d'un système à revenir à un état d'équilibre après une perturbation temporaire, mais il y a une autre propriété qu'il nomma la « résilience » d'un système écologique : « *A measure of the persistence of systems and their ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables*³⁹. » (Holling, 1973, p.14)

Nous présenterons cette résilience ainsi qu'une notion qui lui est fréquemment associée qui est celle de résistance. Nous montrerons comment ces notions peuvent amener à s'interroger sur le fonctionnement des écosystèmes

LA RÉSILIENCE ET LA RÉSISTANCE ÉCOLOGIQUE

La résilience en écologie peut être définie comme la capacité d'un système à supporter les perturbations et à se réorganiser de manière à ce que les changements éventuels préservent les mêmes fonctions, les mêmes structures et les mêmes interrelations (Walker, Holling, Carpenter et Kinzig, 2004). La notion de vitesse de retour à l'équilibre proposée par Pimm (1984) a été nommée résilience d'ingénierie "*engineering resilience*" (Holling, 1996) et est considérée comme l'un des aspects de la résilience écologique. Cependant, la possibilité

³⁹ « [Traduction libre] une mesure de la persistance des systèmes et de leur capacité à absorber changements et perturbations tout en maintenant les mêmes relations entre les populations ou entre les variables d'état. »

d'existence de plusieurs états stables fait que le temps de retour à un état initial ne mesure pas l'ensemble de ce que peut être la résilience du système (voir Figure 3).

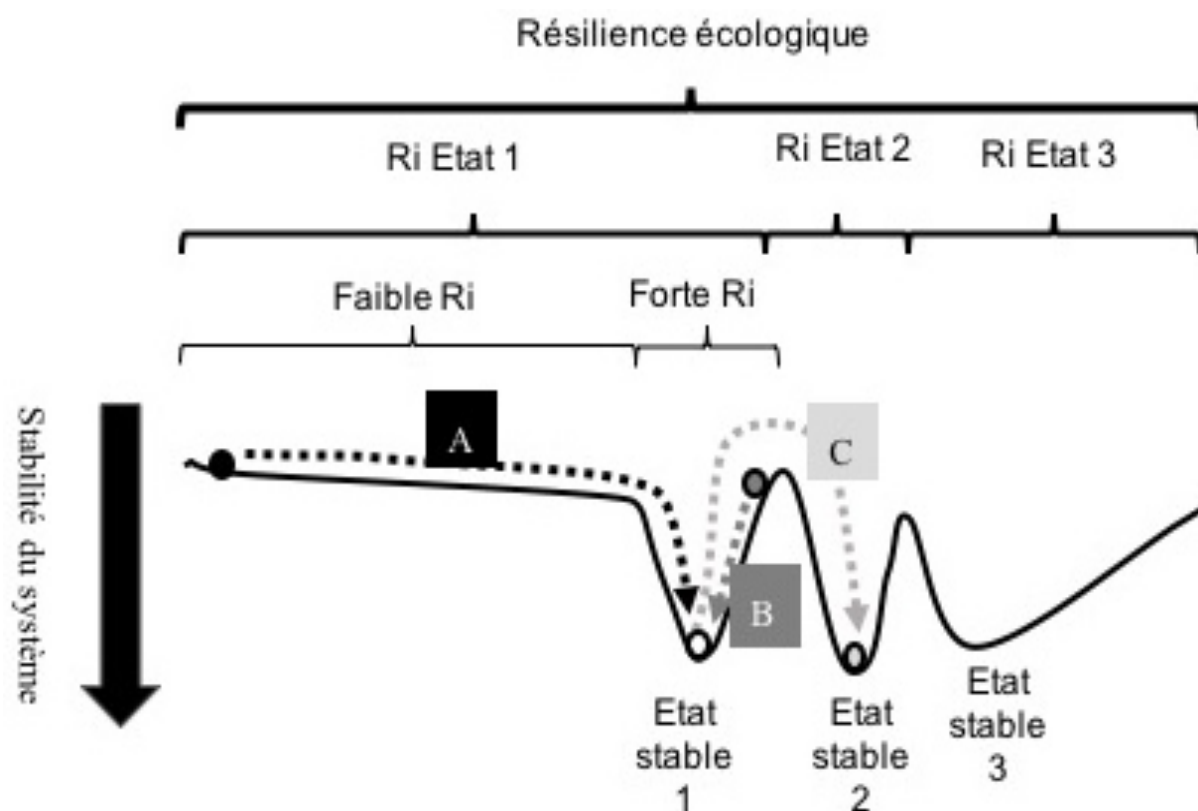


Figure 3 : Illustration de la résilience écologique et de la résilience d'ingénierie et de la résistance. L'état d'un système écologique peut être modélisé par la position d'une balle sur un paysage (Peterson, Allen et Holling, 1998). Dans cette modélisation, on imagine qu'une perturbation du système peut déplacer la balle, mais ensuite la balle va se déplacer selon la gravité. Les creux dans la surface du paysage représentent donc des états stables du système. Dans ce cas, la résistance correspond aux forces qui s'opposent au déplacement de la balle quand celle-ci est dans un état stable. Si cette résistance est dépassée, la balle va s'éloigner de son état stable et seule la résilience du système permettra le retour à un état stable. Trois situations sont représentées. A : la perturbation a conduit la balle dans une zone à faible pente. La balle va mettre un temps long pour retrouver son état initial et présentera une faible résilience d'ingénierie. B : la perturbation a été de même importance mais a conduit la balle dans une zone à forte pente. Le système va rapidement retrouver son état stable conduisant à une forte résilience d'ingénierie. C : la perturbation a été plus importante, conduisant la balle à rejoindre un autre état stable présentant les mêmes relations entre les populations et entre les variables d'état. La résilience d'ingénierie ne peut être déterminée car l'état final est différent de l'état initial. La résilience écologique du système est tout de même présente et le nouvel état stable est même ici légèrement plus stable que précédemment.

La résilience écologique a connu un fort développement et est devenue une manière de considérer la dynamique des systèmes face à des perturbations⁴⁰. Dans ce cadre, la résistance peut être vue comme une des composantes de la résilience correspondant à la capacité du système à absorber ou contrecarrer les effets d'une perturbation⁴¹ (Grimm et Wissel, 1997). Ainsi on ne considère plus que face à la perturbation c'est la résistance immédiate qui compte. Ceci introduit du même coup une dimension temporelle importante car, là où la résistance est immédiatement visible après une perturbation, la résilience ne peut seulement être évaluée que progressivement. De même, la trajectoire de retour à un équilibre est toujours soumise à la contingence et n'est pas forcément celle d'un retour à l'état initial. La perception d'un état stable de type homéostatique laisse ainsi place à des perceptions de type homéorhésiques⁴².

L'intégration d'une pensée de la perturbation et de la résilience a donc profondément modifié la perception des systèmes naturels et a conduit à un véritable changement conceptuel. Mais ceci n'a pas résolu la question du rôle de la diversité spécifique et aujourd'hui il n'existe pas de preuves de l'existence d'un lien entre une forte biodiversité et une meilleure résilience des

⁴⁰ Comme en atteste notamment le livre '*Resilience Thinking*' (Walker et Salt, 2006)

⁴¹ De nombreux auteurs ont cherché à clarifier les relations entre résilience et résistance avec parfois des visions inversées de ce que sont résistance et résilience. La question de la relation entre résistance et résilience se pose, donc encore largement. L'élaboration d'hypothèses générales est d'autant plus difficile qu'il existe une ambiguïté sur les termes de perturbations, de résilience et de résistance et qu'il existe une grande variété de mesures et d'indicateurs pour ces différentes composantes. Ceci a conduit Grimm et Wissel en 1997 à proposer une synthèse des principaux termes associés à la stabilité dont la résilience et la résistance mais sans parvenir à mettre fin au débat qui se poursuit encore aujourd'hui.

⁴² Il existe de nombreuses définitions de la résilience qui sont souvent associées à l'existence d'un état d'équilibre. Cependant certains auteurs comme Grimm et Wissel (1997) proposent une définition plus souple de résilience : "*returning to the reference state (or dynamic) after a temporary disturbance*". Cette définition est proche de celle d'homéorhésis, ils n'indiquent pas l'existence d'états alternatifs ni ne mentionnent de vitesse de retour. L'état de référence ne correspond pas forcément à un état d'équilibre mais plutôt à un état (ou une dynamique) considéré comme "normal" ou souhaitable.

écosystèmes : « *Despite the widespread acceptance of a generally positive relationship between biodiversity and resilience both conceptually and in practice, empirical evidence for this relationship remains fairly limited in scope [...]*⁴³. (Spasojevic et al., 2016, p.1422) ». L'utilisation systématique de la diversité spécifique est parfois remise en cause : « *Although it is difficult to determine which measure of diversity is most appropriate in a given context (because the different measures are context dependent), it is clear that species richness is not always the optimal measure at every level of biological organisation*⁴⁴ » (Mori, Furukawa et Sasaki, 2013, p.350). C'est à travers une réflexion sur le fonctionnement des écosystèmes que va se développer la notion d'approche fonctionnelle qui est une autre perception du rôle de la diversité spécifique.

APPROCHE FONCTIONNELLE DE LA BIODIVERSITÉ

Depuis les débuts de l'écologie scientifique, il y a eu des regroupements d'espèces selon des équivalences écologiques liées par exemple aux niveaux trophiques. Mais après le sommet de la Terre de Rio en 1992, un fort regain d'intérêt pour comprendre le lien entre diversité spécifique et fonctionnement des écosystèmes est apparu. Les espèces diffèrent par des caractéristiques qui influencent le fonctionnement des écosystèmes et ceci veut dire que le fonctionnement des écosystèmes dépend de la présence de ces caractéristiques spécifiques dans l'écosystème (Tilman, 2001). En ce sens, la diversité fonctionnelle est un déterminant des processus écosystémiques (Petchey et Gaston, 2002). Cette diversité fonctionnelle peut être définie comme *“the value and the range of those species and organismal traits that influence ecosystem*

⁴³ « [Traduction libre] Malgré l'acceptation généralisée d'une relation généralement positive entre la biodiversité et la résilience à la fois sur le plan conceptuel et pratique, les preuves empiriques de cette relation restent assez limitées [...] »

⁴⁴ « [Traduction libre] Bien qu'il soit difficile de déterminer quelle mesure de la diversité est la plus appropriée dans un contexte donné (parce que les différentes mesures dépendent du contexte), il est clair que la richesse spécifique n'est pas toujours la mesure optimale à tous les niveaux de l'organisation biologique. »

functioning” (Tilman, 2001). C’est un argument important pour permettre la protection d’espèces qui contribuent au fonctionnement des écosystèmes (Walker, 1995) même si elles ne sont pas forcément très appréciées (comme le moustique en Camargue).

Cette réflexion menée sur la diversité fonctionnelle a conduit à déterminer des groupes fonctionnels définis comme des groupes d’espèces qui partagent des attributs biogéochimiques communs (par exemple photoautotrophes, décomposeurs...) (Naeem, 1998). En se basant sur une revue de littérature, Hooper et al. (2005) concluent notamment que les caractéristiques fonctionnelles des espèces peuvent fortement influencer les propriétés et/ou le fonctionnement des écosystèmes. Certaines espèces rares (par exemple les prédateurs clef de voûte) peuvent influencer fortement le fonctionnement des écosystèmes.

Dans cette vision fonctionnelle, certaines propriétés des écosystèmes peuvent initialement paraître insensibles à une perte d’espèces notamment car certaines espèces peuvent n’avoir que peu de contributions au fonctionnement de l’écosystème mais surtout parce qu’il existe parfois de nombreuses espèces qui ont des rôles similaires dans le fonctionnement de l’écosystème. Ceci correspond à la redondance fonctionnelle. En termes de biologie de la conservation, ce terme a suscité des débats car c’est aussi un argument pour considérer que la disparition de certaines espèces n’aura que peu d’impact sur un écosystème car il existe plusieurs autres espèces qui jouent le même rôle⁴⁵.

Cette approche fonctionnelle est une vision très différente du rôle possible de la diversité spécifique. Cependant la relation entre diversité spécifique, diversité fonctionnelle et structure

⁴⁵ Cette vision n’était pas présentée initialement dans le contexte de construction du terme de redondance fonctionnelle qui était présentée comme nécessaire pour augmenter la résilience et protéger les écosystèmes des perturbations (Walker 1995).

des communautés reste mal comprise (Hooper et al., 2005). Ceci est probablement lié au fait que l'hypothèse de redondance écologique considère la niche de l'espèce dans sa globalité et que ceci implique de nombreux aspects à la fois des traits biologiques mais aussi des facteurs environnementaux correspondant à sa niche écologique (Rosenfeld, 2002). Au final, il semble bien difficile de déterminer pratiquement des équivalents fonctionnels et démontrer qu'au sein d'un écosystème deux espèces sont redondantes semble difficile d'une manière générale.

1.3.3. Bilan et problèmes posés par le lien entre diversité spécifique et fonctionnement des systèmes écologiques

La question de l'intérêt de la mesure de la diversité spécifique a conduit à différents positionnements épistémologiques. D'un point de vue scientifique, la vision de l'« *equilibrium view* » issue du paradigme de « *balance of nature* » dans lequel l'hétérogénéité spatiale et temporelle ainsi que la contingence historique ne jouent qu'un rôle restreint a progressivement laissé place à une vision qui met l'accent sur le changement et la perturbation des systèmes. Cette évolution correspond au passage d'une vision homéostatique des systèmes à une vision homéorhésique.

Aujourd'hui, la détermination du rôle respectif de la stochasticité, de la contingence historique, et des processus non-linéaires est devenue fondamentale dans l'étude des systèmes biologiques.

L'histoire naturelle étant, postule-t-on, composée de cycles et non d'événements historiques, la nature n'a pas de passé ni de devenir car elle est à l'équilibre. [...] Le progrès des connaissances en écologie au cours des 30 dernières années environ a débouché sur un renversement méthodologique et conceptuel qui repose sur la proposition suivante : la compréhension des écosystèmes ne gagne pas à graviter autour des notions de cycle, d'équilibre et d'homéostasie. Au contraire, c'est la notion en apparence antinomique de perturbation qui doit, non pas juste être conçue comme le poison inévitable de l'équilibre, mais au contraire se trouver au cœur de la pensée écologique. (Gunnell, 2009, p.104)

Deux approches se sont développées dans ce cadre et font encore aujourd'hui l'objet d'une recherche active : le lien entre diversité spécifique et résilience et le lien avec le fonctionnement des écosystèmes. Comprendre ces liens semble fondamental face aux menaces qui pèsent sur de nombreuses espèces. Une étude de Cardinale et al. (2012) basée sur plus de 1700 articles se termine ainsi :

Without an understanding of the fundamental ecological processes that link biodiversity, ecosystem functions and services, attempts to forecast the societal consequences of diversity loss, and to meet policy objectives, are likely to fail. But with that fundamental understanding in hand, we may yet bring the modern era of biodiversity loss to a safe end for humanity⁴⁶. (Cardinale et al., 2012, p.66).

Ceci illustre bien la situation actuelle, où face à la perception d'une urgence, les questions des liens entre diversité spécifique, résilience et fonctionnement des écosystèmes deviennent fondamentales. Nous développerons dans le chapitre 3 en quoi la biodiversité est porteuse très fortement de cette dimension de biologie de la conservation mais avant, il nous faut présenter une autre vision de la biodiversité qui ne considère pas les espèces de la même manière. En effet, le point commun à tout ce que nous avons présenté jusque-là est que dans ce cadre, les espèces sont considérées comme étant des entités ayant une réalité et une importance biologique majeure. Le chapitre 2 va traiter d'une vision initialement très différente de la biodiversité née avec la théorie de l'évolution biologique et qui ne considère pas que l'espèce possède en soi une quelconque valeur. Comme nous allons le voir, cette vision porte une tout autre épistémologie de la biodiversité.

⁴⁶ « [Traduction libre] Sans une compréhension des processus écologiques fondamentaux qui lient biodiversité, fonctions et services écosystémiques, les tentatives visant à prévoir les conséquences sociétales de la perte de diversité et à atteindre les objectifs stratégiques risquent d'échouer. Mais avec cette compréhension fondamentale en main, nous pouvons encore conduire l'ère actuelle de perte de biodiversité vers une fin sûre pour l'humanité. »

2. LES DYNAMIQUES ÉVOLUTIVES DE LA BIODIVERSITÉ : LA BIODIVERSITÉ PROCESSUS

Avant de développer différents aspects des dynamiques évolutives de la biodiversité, il est utile de replacer rapidement le contexte historique dans lequel elles apparaissent. Comme nous l'avons déjà présenté dans le premier chapitre, c'est Linné qui va clarifier la notion d'espèce⁴⁷ dans un cadre fixiste et en se basant sur la notion de type. Mais la définition Linnéenne inclut aussi les notions de reproduction et de filiation: « (Dieu) en créant les espèces, imposa à ses créatures une loi éternelle de reproduction et de multiplication dans les limites de leurs propres types » (Linné 1737 cité par Gouyon, 2001). Cette mise en évidence du lien entre le type morphologique et la reproduction constitue la base de toute la réflexion évolutive qui va se développer. Dès le XVIII^{me} siècle vont apparaître les premières approches transformistes qui vont cependant rester trop isolées et embryonnaires pour constituer une véritable théorie scientifique. Parmi les auteurs qui ont contribué à cette vision, on rencontre des personnalités marquantes comme Diderot (1713-1784) ou Buffon considéré en France comme le plus grand savant de son époque (1707-1788). Ces auteurs ont permis de mettre en avant l'importance de la prise en compte d'une échelle géologique du temps pour envisager des transformations. Buffon a ainsi affirmé que « le grand ouvrier de la Nature est le temps »⁴⁸. Cette prise en

⁴⁷ Une des visions anciennes de la vie est très liée à celle des objets inanimés et c'est l'ensemble qui est considéré de manière unitaire. Cette vision est évidemment très présente dans l'Antiquité mais elle ne disparaît pas facilement par la suite. Au XVII^{ème} siècle existait encore l'idée de la transformation d'un organisme adulte en un autre organisme adulte comme l'illustre la légende de la Mandragore qui est censée naître de la semence des pendus innocents (Goullé et al., 2004). Bien sûr, il y a dans ces descriptions une part importante de tradition mais la persistance de ces croyances illustre bien l'absence d'une notion clarifiée de l'espèce (Gouyon, 2001) .

⁴⁸ Pour une discussion plus précise, voir Blanckaert (1994) : « Le temps, grand ouvrier de la nature ».

compte conduit à changer de regard sur la fixité apparente de certaines espèces. En effet, il apparaît de plus en plus nettement que l'échelle de l'histoire humaine n'est pas appropriée pour penser la fixité ou non des espèces vivantes. Ceci est exprimé de manière poétique par Diderot dans le rêve de d'Alembert : « De mémoire de rose, on n'a jamais vu mourir un jardinier ». Divers intellectuels comme de Maillet (1656-1738) dans le *Telliamed* proposent une origine des formes vivantes par transformations successives. Cependant, il faut attendre Lamarck (1744-1829) pour voir naître une théorie transformiste construite.

L'approche fixiste reste malgré tout très présente au début du XIX^{me} siècle. La querelle entre Cuvier (fonctionnaliste et adaptationniste) et Geoffroy Saint-Hilaire (structuraliste) atteste des débats autour de cette vision fixiste encore présente (Gould, 2002). Elle a marqué l'histoire sous le nom de la controverse des crocodiles de Normandie (Brignon, 2013). Divers niveaux de marnes du Jurassique, aux environs de Honfleur, du Havre et de Caen, renferment des fossiles interprétés par Cuvier (1769-1832). Il montre qu'il a existé dans le passé des espèces complètement différentes des « Gavials » actuels et les interprète comme des espèces totalement éteintes ce qui permet de renforcer sa croyance en la fixité des espèces. Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844) réexamine ces fossiles, confirme qu'il s'agit d'espèces disparues mais réalise une interprétation opposée. Pour lui, les crocodiles fossiles de Normandie sont probablement les ancêtres des formes actuelles, voire d'autres groupes de Vertébrés, tels que les Mammifères confirmant ainsi la théorie transformiste de Lamarck. Il en résulte un vif débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire qui ne va pas réellement départager les deux visions (Gould, 2002). C'est évidemment la publication en 1859 de « *L'Origine des Espèces* » par Charles Darwin (1809-1882) qui va jeter les bases de la théorie actuelle de l'évolution et mettre progressivement le débat entre fonctionnalistes et structuralistes.

2.1. Évolution et vision « historique » des espèces

2.1.1. La notion de l'espèce à la naissance de la théorie évolutive

LAMARCK, UNE PREMIÈRE THÉORIE DU VIVANT.

On considère que Lamarck est le premier à proposer une théorie scientifique de l'évolution. Lamarck situe sa réflexion dans le cadre de la biologie qu'il définit comme la science de corps particuliers qu'il considère différents des autres corps de la nature⁴⁹. En ce sens, Lamarck produit une théorie qui ne fait aucun appel à Dieu pour expliquer la diversité des formes de vie. Il ne combat pas Dieu mais veut expliquer le monde uniquement par l'application des règles naturelles. L'ambition de Lamarck est donc de produire une science avec des lois qui expliquent son fonctionnement.

Dans ce contexte, Lamarck propose la théorie transformisme, qui est une théorie scientifique globale qui tente d'expliquer les transformations des êtres vivants dans leur progression du simple vers le complexe. Pour Lamarck, la matière vivante apparaissant par génération

⁴⁹ Lamarck est parmi ceux qui ont inventé le mot Biologie. Il est intéressant de voir ce que Lamarck appelle biologie : « Ces corps [...] ne subsistent qu'à l'aide d'un phénomène intérieur qu'on a nommé la vie et d'une organisation qui permet à ce phénomène de s'exécuter. [...] C'est aux corps singuliers et vraiment admirables dont je viens de parler, qu'on a donné le nom de corps vivants ; et la vie qu'ils possèdent, ainsi que les facultés qu'ils en obtiennent, les distinguent essentiellement des autres corps de la nature. Ils offrent en eux et dans les phénomènes divers qu'ils présentent, les matériaux d'une science particulière qui n'est pas encore fondée, qui n'a pas mérite de nom, dont j'ai proposé quelques bases dans ma Philosophie zoologique, et à laquelle je donnerai le nom de Biologie. » (Lamarck, 1815-1822).

spontanée a une tendance naturelle à se complexifier au cours d'un long processus temporel (Pichot, 1993).

Lamarck produit donc une théorie basée sur des lois et qui implique une histoire évolutive des êtres vivants. « Lamarck a ainsi doublement ouvert les voies de l'avenir par son « Système » et par son « Histoire » ». (Goulven, 1975, p.360). Contrairement à Linné, qui considérait que la description des espèces était fondamentale car elle permettait de découvrir les différents types d'êtres vivants créés par Dieu, l'étude des espèces en tant que telles n'a donc que peu d'intérêt dans un processus évolutif ou elles ne sont qu'un instantané de l'histoire évolutive en cours. En ce sens, l'étude des espèces ne devient qu'un moyen pour comprendre les mécanismes à l'origine de la diversité du vivant. Pour Lamarck, les espèces dérivant les unes des autres au long d'une chaîne des êtres, il n'y a pas de discontinuité entre espèces. Cette vision d'une chaîne sera remplacée par celle d'un arbre dans le cadre darwinien.

DARWIN, ET LA LÉGITIMITÉ DE L'ESPÈCE

Darwin propose une théorie de l'évolution cohérente fournissant ainsi un véritable mécanisme pour expliquer la diversité du vivant. Toute population vivante est variable. Dans le même temps, la sélection naturelle agit à la manière d'un filtre sur la variabilité. Ces processus entraînent, au cours du temps, une complexité progressive et graduelle des organismes⁵⁰.

⁵⁰ Contrairement à Lamarck, Darwin ne considère pas que les organismes ont une tendance naturelle à se complexifier. Gould (1997) illustre l'évolution vers la complexité perçue dans le monde vivant par la métaphore de l'ivrogne. Un ivrogne marche faisant au hasard un pas à gauche ou un pas à droite. Cependant à sa gauche se trouve un mur l'empêchant de reculer au-delà. Si on observe cet ivrogne sur une longue période de temps, il va inévitablement finir par s'éloigner fortement du mur. La seule raison de l'existence d'une directionnalité est ce mur à gauche et la marche au hasard. L'histoire de la vie fonctionne de même. Elle avance au hasard, avec ce mur à gauche qui empêche un organisme vivant d'être plus simple par exemple

La vision Darwinienne de la diversité du vivant retire à l'espèce son statut particulier. Les espèces deviennent un mode de compréhension de la diversité parmi d'autres (Gouyon, 2001). En réalité, le seul niveau vraiment légitime est l'individu ou la lignée. C'est au niveau individuel que s'exerce la sélection naturelle. Darwin écrit dans *L'Origine des espèces* : « Je ne discuterai pas non plus ici les différentes définitions que l'on a données du terme espèce. Aucune de ces définitions n'a complètement satisfait tous les naturalistes, et cependant chacun d'eux sait vaguement ce qu'il veut dire quand il parle d'une espèce » (Darwin, 1859/2009, p.61).

que des cellules à structure procaryote. Au cours du temps, l'impression peut être celle d'une évolution vers la complexité mais ceci ne peut être lié à une tendance de la vie à se complexifier.

Ceci traduit la position de Darwin comme en atteste une lettre écrite par Darwin à Hooker⁵¹ en 1856 :

Je viens juste de comparer entre elles des définitions de l'espèce [...], il est vraiment comique de voir à quel point peuvent être diverses les idées qu'ont en tête les naturalistes lorsqu'ils parlent de l'espèce; chez certains, la ressemblance est tout, et la descendance de parents communs compte pour peu de choses ; chez d'autres, la ressemblance ne compte pratiquement pour rien, et la création est l'idée dominante ; pour d'autres encore, la descendance est la notion-clé ; chez certains, la stérilité est un test infallible, tandis que chez d'autres, cela ne vaut pas un sou. Tout cela vient, je suppose, de ce que l'on essaie de définir l'indéfinissable. (cité par Duris et Gohau (2011))

Dans ce contexte, l'immense diversité du vivant s'organise dans un système de référence, en prenant en compte le cours historique de leur descendance avec modification. Cette vision dite nominaliste considère donc que seuls les individus sont soumis à l'évolution, les espèces n'étant qu'une catégorie arbitraire et subjective.

La théorie Darwinienne est cependant un peu plus positive vis à vis de l'idée d'espèce car elle leur reconnaît une certaine validité qui s'explique par le mécanisme de divergence évolutive. Ceci peut être mis en évidence grâce à la seule illustration présente dans *L'Origine des espèces* (Figure 4). Ce schéma présente le mécanisme de la divergence évolutive car les lignées proches entrent davantage en concurrence que les lignées divergentes conduisant ces dernières à moins s'éteindre que les autres (Gouyon, 2001, p.100). Ainsi, la discontinuité des formes biologiques observée à un instant t est le résultat d'un mécanisme historique. Ce qui est arbitraire, c'est le niveau systématique (variété, sous-espèce, espèce, genre...) qu'on attribue à ces branches. Les branches de l'arbre phylogénétique⁵² existent objectivement mais doivent être conçues

⁵¹ Joseph Dalton Hooker (1817 - 1911) est un botaniste britannique ami de Darwin avec qui il entretient une correspondance. Darwin lui rend d'ailleurs hommage dans l'introduction de *L'Origine des espèces* (1859/2009, p. 49)

⁵² Darwin parle de généalogie, les termes « phylogénie » puis « phylogénétique » seront construits postérieurement

comme le résultat d'un processus de différenciation des éléments historiquement interconnectés et indissociables.

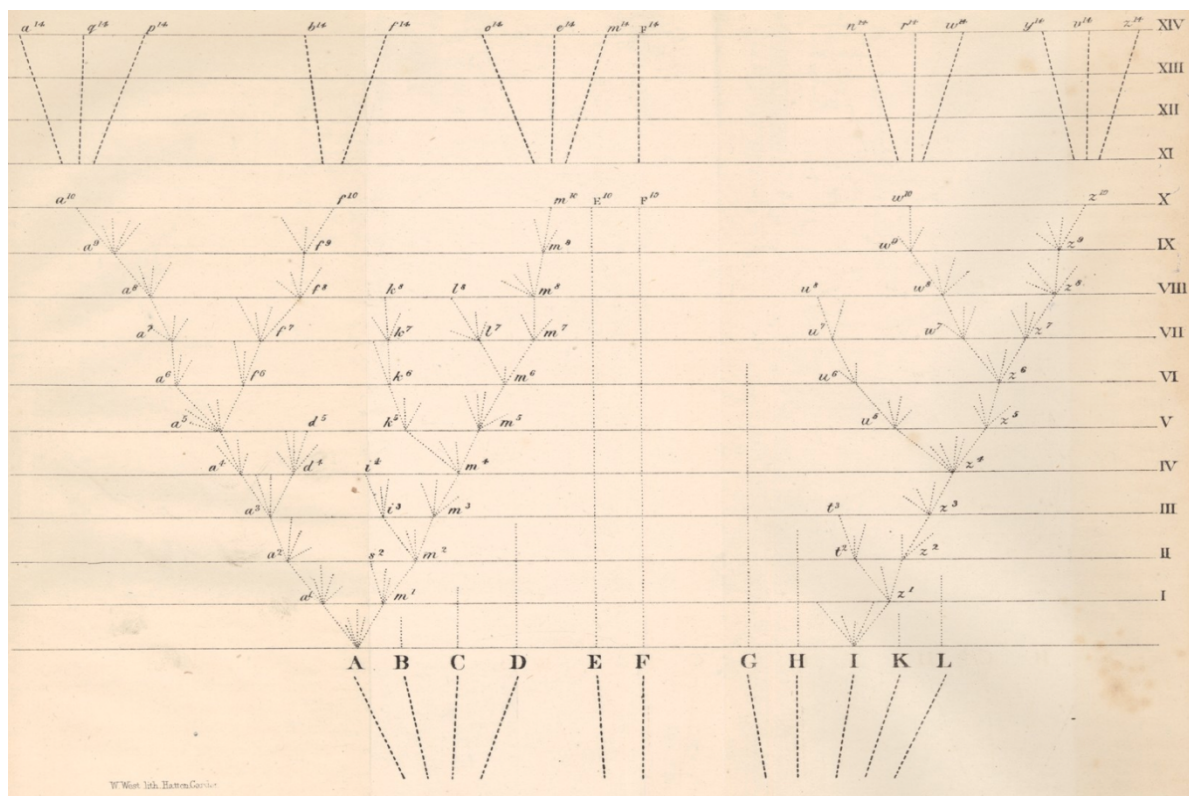


Figure 4 : Aspect buissonnant de l'évolution tel que Darwin le figurait dans l'Origine des Espèces (Darwin, 1860, d'après le site <http://darwin-online.org.uk/>)

Beaucoup des biologistes de la fin du XIX^{me} et du début du XX^{me} siècle vont partager cette vision darwinienne. D'un autre côté, au début du XX^{me} siècle, la redécouverte des lois de Mendel par Hugo De Vries (1848-1935) va conduire les généticiens à considérer que les espèces ont une existence réelle liée à l'existence de macromutations⁵³. Bien que ces deux visions s'opposent, elles partagent l'idée qu'une espèce ne peut être envisagée en dehors d'un processus historique qui lui a donné naissance.

L'opposition entre évolutionnistes et généticiens va disparaître notamment par l'intermédiaire de modèles mathématiques qui permettent de relier les distributions des allèles au sein des populations avec leur fonctionnement évolutif. Ces modèles ont été par la suite enrichis de résultats issus de la paléontologie et de la botanique pour aboutir à la Théorie Synthétique de l'Évolution. Dans le cadre de cette théorie synthétique de l'évolution, deux approches de la définition de l'espèce dans un cadre historique vont se développer. Nous allons présenter quelques éléments sur ces approches évolutives et phylogénétiques de l'espèce.

2.1.2. Vision évolutive et phylogénétique de l'espèce

LA DÉFINITION ÉVOLUTIVE DE L'ESPÈCE

Simpson (1902 - 1984) reproche au concept biologique d'espèce de Mayr (voir Chapitre 1 pour une présentation de l'espèce biologique) de mettre de côté le fait qu'une espèce est un groupe d'individus (population) qui se sont transformés au cours des temps géologiques. Il va proposer une définition évolutive de l'espèce dont la définition la plus courante est : « *A species*

⁵³ Cette vision est, par exemple, formalisée par Goldschmidt (1878-1958) avec les monstres prometteurs qui sont des individus apparus soudainement suite à des mutations et qui pourraient se trouver mieux adaptés à certaines conditions environnementales.

*is a single lineage of ancestral descendant populations of organisms which maintains its identity from other such lineages and which has its own evolutionary tendencies and historical fate*⁵⁴» (Wiley, 1978, p.18; modifié d'après Simpson, 1961). Cette espèce évolutive est donc une entité définie d'un point de vue historique et temporel (Wiley, 1978).

Cette définition pose cependant le problème de savoir à quel niveau situer les démarcations qui identifient les espèces. C'est en particulier le cas en paléontologie où le registre fossile montre parfois des espèces qui se modifient progressivement jusqu'au point de considérer qu'il s'agit d'une nouvelle espèce⁵⁵. On parle alors de spéciation graduelle phylétique. Simpson, en 1961, avait déjà identifié les limites de cette définition évolutive :

⁵⁴ « [Traduction libre] Une espèce est une lignée unique de populations descendantes d'organismes ancestraux qui maintient son identité par rapport à d'autres lignées de proches et qui a ses propres tendances évolutionnistes et son propre destin historique. »

⁵⁵ En 1961, lors de la définition de l'espèce évolutive, les paléontologues considéraient que cette modification progressive des espèces était assez générale. Ce n'est qu'au début des années 1970 qu'Eldredge et Gould (1972) ont proposé que les changements morphologiques observés dans les fossiles sont en général discontinus alternant ainsi de longues périodes de stase morphologiquement stables avec de brefs périodes de diversification morphologique où apparaissent de nouveaux types morphologiques (les ponctuations) au cours desquels apparaissent de nouveaux types morphologiques. Sur cette base, la théorie des équilibres ponctués a été proposée : les événements de diversification morphologique seraient la conséquence d'un événement de spéciation suite à l'isolement géographique de petites populations. Ces nouvelles espèces peuvent ensuite remplacer les anciennes et former de grandes populations qui n'évoluent plus morphologiquement. Ce modèle implique donc que les changements morphologiques majeurs ont lieu non pas par accumulation lente de changements mineurs au sein d'une lignée établie, mais par une évolution rapide à l'occasion de la mise en place d'une nouvelle lignée.

*If you start at any point in the sequence and follow the line backward through time, there is no point where the definition would cease to apply. You never leave an uninterrupted, separate, unitary lineage and therefore never leave the species with which you started unless some other criterion of definition can be brought in. If the fossil record were complete you could start with man and run back to a protist still in the species *Homo sapiens*. Such classification is manifestly both useless and somehow wrong in principle.*⁵⁶(Simpson, 1961, cité par Wiley, 1978, p.21)

Face à ce problème, malgré les tentatives, il n'a pas été réellement possible de trouver des critères de démarcation entre « espèces » au cours du temps. C'est pour cette raison qu'une autre vision de l'espèce basée sur la phylogénie a été proposée.

LA DÉFINITION PHYLOGÉNÉTIQUE DE L'ESPÈCE

À la base de l'approche phylogénétique de l'espèce se trouve la cladistique qui cherche à retrouver les relations de parenté en distinguant pour les caractères l'état primitif (plésiomorphe) et l'état dérivé (apomorphe). Hennig (1913-1976), montre qu'on ne peut pas regrouper les espèces sur la base du partage des caractères plésiomorphe (on parle de simplésiomorphie), car cet état était présent aussi en dehors du groupe. Il indique ainsi que seuls les caractères apomorphes partagés (on parle de synapomorphies) permettent des regroupements constitués d'un ancêtre hypothétique commun et de l'ensemble de ses descendants. Ces groupes sont dits monophylétiques, par opposition aux groupes paraphylétiques qui ne comprennent pas tous les descendants et polyphylétiques auxquels il

⁵⁶ « [Traduction libre] Si vous commencez à n'importe quel point de la séquence et suivez la ligne en arrière dans le temps, il n'y a aucun point où la définition cesserait de s'appliquer. Vous ne laissez jamais une lignée ininterrompue, séparée et unitaire et ne quittez donc jamais l'espèce avec laquelle vous avez commencé, à moins qu'un autre critère de définition ne puisse être introduit. Si les enregistrements fossiles étaient complets, vous pourriez commencer par l'homme et retourner vers un protiste en restant encore dans l'espèce *Homo sapiens*. Cette classification est manifestement à la fois inutile et erronée en principe »

manque l'ancêtre commun à tous les membres du groupe⁵⁷. Ces notions sont souvent illustrées en utilisant des arbres phylogénétiques permettant de visualiser les différentes configurations possibles (Figure 5). À titre d'exemple, Hennig (1965, p.103) utilise une figure reproduite ci-dessous pour présenter les groupes mono, para et polyphylétique.

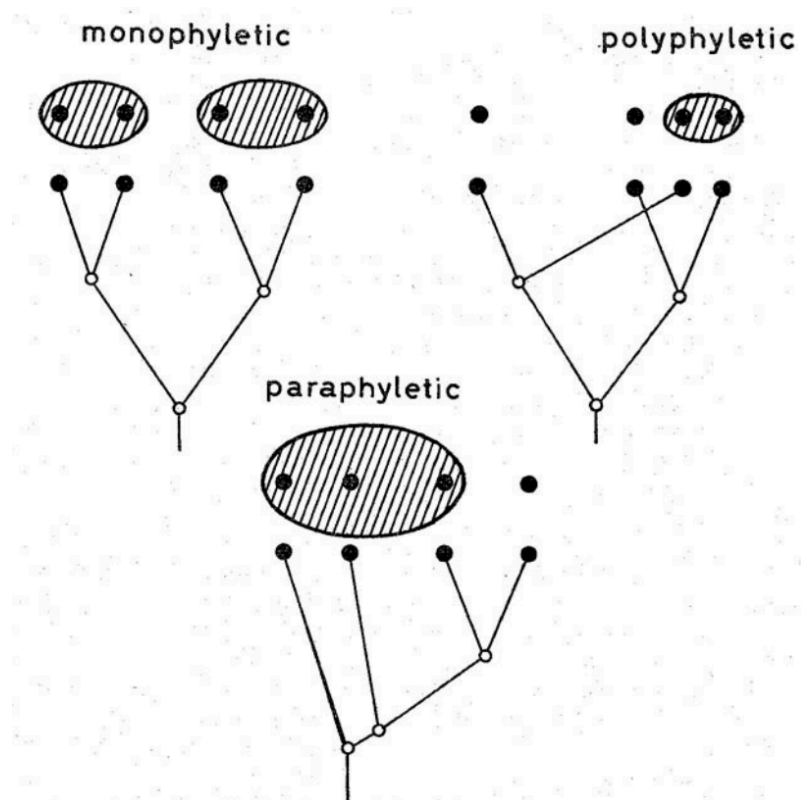


Figure 5 : Les trois catégories de groupes systématiques (Reproduit d'après Hennig, 1965, p. 103)

⁵⁷ Ces notions sont souvent illustrées en utilisant des arbres phylogénétiques permettant de visualiser les différentes configurations possibles. À titre d'exemple Hennig (1965, p.103) utilise une figure reproduite ci-dessous pour présenter les groupes mono, para et polyphylétique.

Dans ce cadre, de nombreuses définitions de l'espèce ont été proposées depuis les travaux de Hennig⁵⁸. On peut par exemple définir l'espèce comme le clade le plus inclusif « *within which there is a parental pattern of ancestry and descent.*⁵⁹ » (Cracraft, 1983, p.170). Cette définition est proche de la définition évolutive de l'espèce puisque les parentés utilisées dans cette définition phylogénétique correspondent à des événements de l'histoire évolutive. Mais il demeure une difficulté majeure de la définition phylogénétique de l'espèce, car si on peut penser que toute espèce répond à cette définition, il est évident qu'il existe des groupes distincts qui ne sont pas des espèces. Face aux difficultés que pose donc cette définition phylogénétique de l'espèce, une alternative a été proposée. Il s'agit des LITUs (*Least-Inclusive Taxonomic Unit*).

Un LITU représente le plus petit taxon que l'on puisse identifier par une apomorphie (Pleijel et Rouse, 2000). L'identification de LITUs reflète l'état des connaissances et ne dit rien des structures internes qui pourraient exister. Ceci implique que rien ne permet de dire qu'un LITU est définitivement déterminé et il peut changer de statut (Figure 6). De plus ceci ne dit rien du statut du LITU en dehors de la classification du vivant. Un LITU peut-être une espèce, mais aussi une population, un genre, une sous-espèce... Ceci pouvant conduire à une inflation du nombre de LITUs décrites par l'approche phylogénétique (Isaac, Mallet et Mace, 2004).

En fait, l'approche phylogénétique de l'espèce conduit à massivement mettre en avant les limites de la définition de l'espèce dans le cadre d'une réflexion évolutive sur la parenté entre organismes. Ces difficultés on conduit, il y a plus de 15 ans, Nims (2001) à proposer, dans un

⁵⁸ Nous ne développerons pas ici les liens initiaux entre la définition biologique de Mayr et la première définition de Hennig, ainsi que les débats qui ont suivi et on aboutit à séparer la vision phylogénétique des critères liés à l'isolement reproducteur (voir Wheeler et Meier (2000) pour plus de détails sur ce sujet).

⁵⁹ « [Traduction libre] à l'intérieur de laquelle il existe un modèle parental d'ascendance et de descendance. »

court article d'une page, un comte sur le pays de Bioutopia ou il mettait en avant la guerre entre la « *powerful tribe of Real Taxonomists*⁶⁰ » et la « *huge but poor tribe of Named-users*⁶¹ ». Au-delà de la critique de la complexité des classifications modernes pour les utilisateurs, il mettait en avant la difficulté de concilier les noms Linnéens avec les méthodes actuelles de classification qui modifient en permanence la classification en fonction de l'avancée des connaissances. La proposition qu'il faisait dans cet article consiste à séparer l'action de classification phylogénétique basée sur des codes qui s'affranchissent de la nomenclature binomiale, de l'utilisation des noms d'espèces traditionnels. Cette proposition reste d'actualité face au développement très important des approches moléculaires basée sur l'étude de l'ADN (Pante, Schoelinck et Puillandre, 2015)

⁶⁰ « [Traduction libre] puissante tribu des véritables taxonomistes »

⁶¹ « [Traduction libre] tribu immense mais pauvre des utilisateurs des noms »

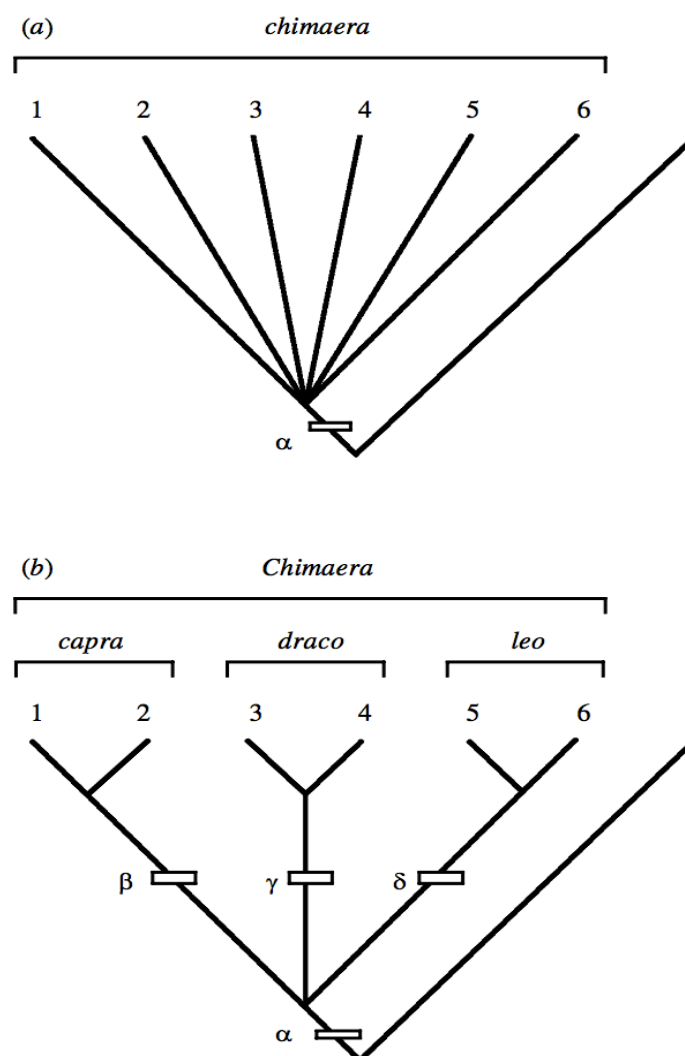


Figure 6 : Exemple hypothétique de l'évolution des LITUs au sein du taxon *chimaera* (d'après Pleijel et Rouse (2000)).

Dans la situation (a), on identifie les *chimaera* comme un groupe monophylétique déterminé par l'apomorphie α . Ce groupe est donc un LITU et s'écrit en minuscule (comme le nom d'espèce de la nomenclature Linnéenne).

Si on imagine qu'une nouvelle étude menée permet de reconnaître trois groupes monophylétiques basés sur des apomorphies au sein du groupe précédent (b), la situation va changer. Le groupe *chimaera* va devenir *Chimaera* et trois LITUs vont être créés : *capra*, *draco* et *leo*. L'évolution de cette situation ne conduit pas à remettre en cause la classification initiale, mais à la préciser. Le groupe *Chimaera* reste donc valide, mais n'est plus un LITU.

D'une manière plus générale, la définition de l'espèce évolutive et phylogénétique illustre les propos de Darwin sur l'espèce qui n'est globalement qu'une catégorie arbitraire. Depuis le début des années 2010, la question de la délimitation de ce qu'est une espèce face au développement technique des analyses des génomes prend de plus en plus de place (Flot, 2015). Ces travaux montrent que dans ce cadre phylogénétique l'espèce n'a qu'un sens très relatif. En réalité, la vision de l'espèce devient dynamique et intégrée dans un processus temporel conduisant à gommer les séparations entre populations, sous-espèce, espèce... Il existe au cours du temps évolutif une zone grise où l'existence ou non de 2 espèces dépend des critères utilisés et de l'histoire évolutive (De Queiroz, 2007).

Mais si on considère que l'espèce n'est plus un concept opérationnel, comment s'intéresser à la biodiversité ? Nous allons voir dans la prochaine partie quelle vision de la biodiversité peut se construire dans cette perspective d'un monde vivant en évolution permanente.

2.2. Diversité génétique, évolution des espèces et approche dynamique

Du point de vue évolutif, les espèces n'ont pas d'existence propre et il faut s'intéresser aux mécanismes évolutifs pour comprendre et étudier le vivant. Cette vision a été mise en avant par la célèbre phrase de Dobzhansky (1900-1975) « *Nothing in biology makes sense except in the light of evolution.*⁶² ». Dans ce cadre, plus qu'un état statique, c'est une dynamique temporelle qu'il faut prendre en compte. En terme de biodiversité et de protection du vivant, il semble important de prendre en compte le potentiel adaptatif défini comme la capacité des

⁶² « [Traduction libre] Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution. »

espèces/populations à répondre à la sélection par le biais de changements phénotypiques ou moléculaires (Eizaguirre et Baltazar-Soares, 2014). Nous allons présenter des éléments qui prennent en compte ce potentiel adaptatif pour construire une représentation de la biodiversité spécifique dynamique et évolutive.

2.2.1. Prise en compte des mécanismes évolutifs de la biodiversité.

Du point de vue évolutif, l'un des paramètres les plus importants est la variation intraspécifique qui est à la fois la variation des génomes et des phénotypes entre les individus d'une population ou de plusieurs populations. Il faut cependant préciser que cette diversité intraspécifique recouvre différents aspects. Si on considère la variation génétique au sein d'une population, on peut schématiquement considérer que celle-ci se décompose en deux (Brodersen et Seehausen, 2014) :

- La variation fonctionnelle qui correspond à des éléments ayant une caractéristique morphologique, physiologique ou autre qui affectent le fonctionnement de l'organisme. La variation fonctionnelle peut donc avoir des conséquences pour la population, mais aussi pour les interactions avec les autres espèces et le fonctionnement de l'écosystème. Ces variations fonctionnelles peuvent être positives ou négatives pour la capacité de survie et de reproduction. À l'échelle de la population, elle détermine en grande partie le potentiel adaptatif.
- La variation neutre qui correspond à des éléments qui ne modifient en rien le fonctionnement de l'organisme. Cette variation n'a donc pas de conséquences et est considérée comme un indicateur pour déterminer des paramètres de fonctionnement des populations comme la taille effective de population, les flux de gènes...

Pour illustrer en quoi la connaissance de la diversité génétique est importante, nous allons reprendre un exemple présenté par Brodersen et Seehausen (2014) qui montre en quoi la vision spécifique seule pose problème. Cet exemple est celui du complexe d'espèces des truites

européennes dans la région des Alpes. En plus de la truite atlantique (*Salmo trutta*) on y rencontre différentes espèces de truites *S. rhodanensis*, *S. labrax*, *S. cenerinus* et *S. marmoratus*. Des études récentes ont montré la diversité génétique de ce complexe ainsi que l'existence d'adaptations selon l'altitude. Mais si aujourd'hui, la truite peut être trouvée dans presque tous les cours d'eau de chaque côté des Alpes, cela cache le fait que la plupart des espèces de truites distinctes ont été presque entièrement perdues alors que la truite atlantique (*S. trutta*) est très répandue et abondante dans la plus grande partie de son aire de répartition et maintenant aussi dans celles de toutes les autres espèces. Ceci est le résultat de la modification des pratiques d'alevinages depuis la seconde moitié du XXe siècle. En dehors de la truite atlantique, ces espèces sont gravement menacées, bien que l'état de conservation ne soit généralement donné qu'à *S. marmoratus*, car les autres sont rarement reconnus comme espèces distinctes (Kirchhofer et al., 2007 cité par Brodersen et Seehausen, 2014). Ainsi, malgré l'importance écologique et économique des truites et les moyens importants de gestion mis en place, le bilan de la gestion est qu'en termes de diversité biologique de nombreux éléments ont été perdus au sein du complexe d'espèces. Ceci illustre bien les limites que pose une gestion qui ne prend pas en compte la dynamique de fonctionnement des populations et des espèces. Loin d'être un cas isolé, ceci illustre le fait que, en dépit d'accepter que les espèces ne soient pas des entités fixes, les processus évolutifs sont souvent négligés par les biologistes et les décideurs intéressés à protéger les espèces menacées (Moritz et Potter, 2013; Smith et Bernatchez, 2008).

Cette diversité génétique est le produit de l'histoire évolutive, mais aussi le fondement des possibles évolutions et adaptations futures. Il existe des liens entre cette diversité intraspécifique et plusieurs aspects fondamentaux du fonctionnement des populations, communautés, et écosystèmes (Tableau 3).

Mais la question fondamentale qui se pose quand on considère une vision évolutive n'est plus de savoir décrire la biodiversité en termes de structures (diversité des gènes, des espèces et des écosystèmes), mais de trouver comment identifier ce qui détermine le potentiel évolutif des populations. La diversité génétique ne devient qu'un indicateur de ce potentiel. Nous allons développer dans la prochaine partie quelques éléments sur la manière dont il est aujourd'hui possible d'étudier la biodiversité dans le cadre de cette vision.

Tableau 3 : Rôle de la diversité intraspécifique dans des processus évolutif et écologique (adapté d'après Mimura et al. (2017)).

Niveau	Processus	Description
Population	« Portfolio effects »	L'existence d'individus avec des génotypes variés permet de produire une large gamme de réponses face à des variations environnementales et contribue donc à la stabilité de la population.
	Taille effective de la population et succès reproducteur.	Les variations génétiques augmentent la taille effective de la population et diminuent donc les risques de dépression consanguine.
	Adaptabilité	Certaines variations génétiques permettent face à de nouvelles pressions de sélection, la mise en place d'un processus d'adaptation.
Communautés et écosystèmes	Production primaire et abondance des espèces	Des travaux (voir Crutsinger (2016)) montrent chez des plantes que l'augmentation de la diversité intraspécifique s'accompagne d'une augmentation de la production primaire et de l'abondance des espèces mutualistes et antagonistes.
	Stabilité des écosystèmes	Suite à ce qui a été indiqué ci-dessus, la diversité intraspécifique contribue à la stabilité des écosystèmes

2.2.2. Déterminer le potentiel évolutif pour décrire la dynamique de la biodiversité

ÉTUDE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE COMME INDICATEUR DES POTENTIALITÉS ÉVOLUTIVES.

La variation génétique neutre est utilisée pour déterminer de manière relativement simple plusieurs paramètres fondamentaux du fonctionnement des populations naturelles et est devenue une mesure clef pour de nombreux programmes de conservation (voir par exemple Schwartz, Luikart et Waples (2007)). Cependant, elle n'est pas très pertinente pour évaluer directement le potentiel adaptatif. À l'inverse, la diversité fonctionnelle représente un indicateur essentiel du potentiel adaptatif.

Pour évaluer le potentiel adaptatif, une première approche consiste à s'intéresser à des variations des gènes dont on s'attend à ce qu'ils puissent fortement influencer le potentiel adaptatif en cas de changement environnemental. Par exemple, on sait que certains allèles de gènes présentent des réponses différenciées selon la température (Feder et Hofmann, 1999). Les méthodes actuelles de PCR quantitative permettent de mesurer le niveau d'expression de ces gènes (Satake et al., 2013). Il semblerait donc important d'étudier les effets de ces gènes sur les variations phénotypiques pour prédire le potentiel adaptatif. Bien sûr, ceci présuppose là que ces gènes sont connus et auront une forte influence sur le phénotype et donc sur la fitness⁶³ des individus ce qui n'est pas souvent le cas (Mimura et al., 2017).

Une alternative est le développement des méthodes de séquençage de nouvelle génération (next-generation sequencing-NGS) qui permettent de traiter des centaines de loci permettant

⁶³ La fitness ou valeur sélective correspond à la capacité d'un individu d'un certain génotype à se reproduire ce qui dépend donc de son taux de reproduction et de sa survie.

d'accéder à des données jusque-là très difficiles à obtenir (Shafer et al., 2015). Différentes méthodes statistiques peuvent ensuite être combinées pour déterminer des régions génomiques soumises à sélection et pouvoir réaliser des inférences sur le potentiel adaptatif qui y est associé (Hansen, Olivieri, Waller et Nielsen, 2012). Le développement de nouvelles méthodes permet donc d'envisager de mesurer la diversité fonctionnelle. Mais, pour lier les variations fonctionnelles à la viabilité et à la persistance de la population face aux changements environnementaux, il est important d'avoir des archives pour parvenir à interpréter correctement la situation (Mimura et al., 2017).

LA PRISE EN COMPTE DES DONNÉES HISTORIQUES.

Un exemple de l'importance des archives est donné par l'étude du Saumon atlantique (*Salmo salar*) qui comportait originellement 9 populations distinctes génétiquement (Geertz-Hansen & Jørgensen, 1996, cité par Brodersen et Seehausen, 2014). Jusqu'à récemment, le saumon dans les cours d'eau danois était géré à partir de stocks étrangers, car les stocks originaux étaient supposés disparus. Cependant, des analyses d'ADN menées sur des échantillons à l'échelle de 60 à 80 ans ont permis de constater que des stocks originaux subsistaient encore dans trois rivières. Cela a mené à un changement immédiat de la gestion des populations de saumons au Danemark. Désormais, les poissons sont collectés localement, caractérisés génétiquement avant d'être utilisés pour des réintroductions permettant aux populations indigènes locales de se rétablir (Nielsen et Hansen, 2008).

L'exemple ci-dessus illustre le fait que des échantillons historiques étaient absolument nécessaires pour détecter, mesurer et comprendre les changements contemporains dans la biodiversité au travers des processus évolutifs. Cependant, dans le cas général, il n'y a pas non plus de raison de croire que les données historiques constituent *per se* l'état de référence auquel comparer la situation actuelle. En effet, les écosystèmes étant dynamiques, les espèces changent en permanence même en l'absence d'intervention humaine (Ferraro et Pattanayak, 2006; McDonald-Madden et al., 2009).

Ceci a conduit Bull, Gordon, Law, Suttle et Milner-Gulland (2014) à proposer un modèle général de la biodiversité dans une région. Le modèle considère une fonction B qui représente la biodiversité dans une région. L'approche étant dynamique, B est une fonction du temps t . Si $t=0$, $B_{(t)}=B_0$, ce qui correspond à la valeur initiale de la biodiversité. Cette valeur initiale va évoluer selon une trajectoire pouvant correspondre à l'évolution « naturelle » de la biodiversité au cours du temps. Cette trajectoire est représentée par la fonction $T_{(t)}$. Le modèle de base de la biodiversité est donc :

$$B_{(t)} = T_{(t)} \times B_0$$

Ce modèle impose donc de comparer la biodiversité existante à ce qu'elle devrait être au moment considéré et non avec un état ancien. De manière à intégrer les effets possibles de l'activité humaine, deux autres fonctions ont été introduites dans le modèle :

$dev_{(t)}$: Cette fonction représente les effets négatifs possibles du développement humain sur la région considérée. Il s'agit donc d'une perte de biodiversité.

$off_{(t)}$: Cette fonction représente les effets positifs liés à la mise en place d'actions qui vont permettre d'augmenter la biodiversité (par exemple, actions de compensations ou *offset* en anglais)

Ceci conduit donc à un modèle général de la biodiversité au cours du temps :

$$B_{(t)} = T_{(t)} \times [B_0 - dev_{(t)}] + [p_{(t)} \times off_{(t)}]$$

avec $p_{(t)}$ qui correspond au changement de la partie de la biodiversité pour laquelle des mesures de protection sont mises en place.

Au-delà de l'application de ce modèle, il ressort de cette démarche l'importance de prendre en compte la dimension temporelle pour toute approche de la biodiversité. Il s'agit bien ici de déterminer des dynamiques et des trajectoires au court du temps. Cette vision dynamique conduit à envisager la biodiversité comme un processus. On peut ainsi s'interroger, sur des échelles de temps relativement longues, sur les actions que l'homme peut mettre en place pour favoriser le développement de la biodiversité notamment en favorisant l'apparition de nouvelles espèces :

*In conclusion, it is not currently possible to quantify exactly how many speciation events have been caused through human activities, or how significant this process is. Yet it is clearly a phenomenon worthy of further attention from conservation science, given examples of human-influenced speciation events do exist, as do multiple anthropogenic mechanisms for driving rapid evolution. Consideration of speciation alongside extinction may well prove important in developing a better understanding of our impact upon global biodiversity.*⁶⁴ (Bull et Maron, 2016, p.7-8)

Cette prise en compte possible du rôle de l'Homme dans l'apparition de nouvelles espèces par la mise en place de mécanismes qui favorisent la spéciation est à associer à une vision différente de la protection de la biodiversité. Il ne s'agit plus de protéger un patrimoine, mais de mettre en place les conditions pour que les mécanismes évolutifs produisent des innovations évolutives. Si cette vision nécessite d'être opérationnalisée, elle représente un changement potentiel de paradigme dans la compréhension et la gestion de la biodiversité.

2.2.3. Bilan et problèmes posés par la vision de la biodiversité au sein d'une dynamique évolutive

La vision dynamique de la biodiversité a des bases épistémologiques anciennes qui remontent notamment à la naissance de la théorie évolutive du vivant. Aujourd'hui, la théorie de l'évolution occupe une place centrale dans la compréhension des mécanismes à l'origine de la

⁶⁴ « [Traduction libre] En conclusion, il n'est actuellement pas possible de quantifier exactement combien d'événements de spéciation ont été causés par des activités humaines, ni quelle est l'importance de ce processus. Pourtant, il est évident que c'est un phénomène qui mérite une plus grande attention des sciences de la conservation, étant donné que des exemples d'événements de spéciation influencés par l'homme existent, ainsi que de multiples mécanismes anthropogéniques pouvant conduire à une évolution rapide. La prise en compte de la spéciation en même temps que l'extinction peut s'avérer importante pour une meilleure compréhension de notre impact sur la biodiversité mondiale. »

biodiversité. Si on considère les choses sous cet angle, la biodiversité devient un processus et c'est ce processus qui est important (Maris, 2006).

Dans cette perspective, les espèces deviennent des entités très relatives qui n'ont finalement que peu d'intérêt, c'est la variation qui compte dans la perspective d'un processus temporel d'évolution :

*Evolution is the engine that generates biological diversity, but individual variation is the fuel. We argue for a need of collecting data to describe distributions of individual variation both within and between species and populations for evolution-aware monitoring [...] It is important that these data are fully integrated into biodiversity monitoring efforts to be able to follow changes in the distributions of phenotypes and genotypes through time [...].*⁶⁵ (Brodersen et Seehausen, 2014, p.971).

De même, il devient illusoire de vouloir protéger la biodiversité actuelle « *The very concept of preservation assumes that there is something to preserve, but in a state of constant flux, there is no way to identify that something - it is a ghost, an illusion of that which does not exist at all.* »⁶⁶ (Robbins, 2016, p.84). Ceci implique qu'il faut accepter que certaines espèces s'éteignent et ceci ne pose pas problème si dans le même temps d'autres espèces apparaissent. En fait ce qui compte c'est autant de maximiser la création de nouveautés que de protéger l'existant. D'un point de vue épistémologique, on peut rapprocher cette vision de modèles fréquemment utilisés en sciences qui considèrent la dynamique d'un système à partir des flux d'entrée et de sortie.

⁶⁵ « [Traduction libre] L'évolution est le moteur qui génère la diversité biologique, mais la variation individuelle est le carburant. Nous plaçons pour la nécessité de recueillir des données pour décrire les distributions des variations individuelles à l'intérieur et entre les espèces et les populations pour une surveillance évolutive. [...] Il est important que ces données soient pleinement intégrées aux efforts de surveillance de la biodiversité afin de pouvoir suivre les changements dans la répartition des phénotypes et des génotypes dans le temps [...]. »

⁶⁶ « [Traduction libre] Le concept même de préservation suppose qu'il y a quelque chose à conserver, mais dans un état de flux constant, il n'y a aucun moyen d'identifier ce quelque chose - c'est un fantôme, une illusion de ce qui n'existe pas du tout. »

Le principe de tels modèles peut paraître très simple. Chaque compartiment est décrit par des variables définissant des flux d'entrée et de sortie de matière (élément chimique, molécule...) ou d'énergie, et par une variable d'état (concentration, énergie interne, masse totale...) ; il répond à une équation bilan qui définit la variation par unité de temps de la variable d'état en fonction de la somme algébrique des flux d'entrée et de sortie :

$$\begin{array}{ccccc} \text{variation de la} & & \text{somme des flux} & & \text{somme des flux} \\ & = & & - & \\ \text{variable d'état} & & \text{d'entrée} & & \text{de sortie} \\ \text{(Orange et Orange, 1995, p.31)} & & & & \end{array}$$

Dans ce cadre, la stabilité apparente des écosystèmes est le résultat du renouvellement permanent à l'échelle évolutive de la diversité des êtres vivants qui les composent. Les données historiques sont importantes tant pour comprendre la dynamique biologique que pour mettre en place des mesures de protection comme l'illustre le phénomène de la référence changeante (*shifting baseline syndrome*). La référence changeante fait référence au fait que chaque génération va déterminer sa propre base de référence à partir des données contemporaines pour ce qui est une situation normale, ce qui peut conduire à masquer la diminution progressive de la biodiversité (Pauly, 1995). La connaissance historique et évolutive devient donc fondamentale pour envisager de protéger la biodiversité vue comme un processus dynamique.

À l'issue de ces deux premiers chapitres, nous avons réalisé une présentation des visions naturalistes et des visions basées sur la dynamique évolutive. Si la diversité du vivant est un des objets d'étude privilégiés des sciences de la nature puis de la biologie, il serait faux de croire qu'il est possible de se contenter de cette vision. En effet, l'idée de biodiversité est née dans un contexte d'inquiétude face aux menaces qui pèsent actuellement sur le Vivant. La biodiversité naît comme un terme qui permet de populariser l'importance de la prise en compte de la disparition de la diversité biologique. La place de la biodiversité sur la scène internationale a été depuis régulièrement confirmée par de nombreux sommets internationaux. Ainsi, parler de biodiversité aujourd'hui, c'est immédiatement faire naître l'image d'une biodiversité en danger. Nous allons développer dans la prochaine partie des aspects sociaux liés à la protection de la biodiversité.

B - Dimensions sociales du concept de biodiversité

3. PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ : SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Dès le début des années 80, des travaux ont mis en avant une crise de la biodiversité (Myers, 1979 ; Ehrlich and Ehrlich, 1981 cités par Mauz, 2011). Cette crise a été présentée comme une sixième extinction par analogie avec les 5 grandes crises paléontologiques majeures (Leakey et Lewin, 1995). Ainsi « La diversité biologique désigne, de façon neutre, une propriété du monde vivant, alors que le terme « biodiversité » problématise cette propriété. La biodiversité, c'est la diversité biologique menacée, qui s'offre à l'humanité comme objet de souci et de protection » (Maris 2010, p. 11). Au-delà des enjeux scientifiques, la biodiversité porte donc en elle des dimensions politiques, économiques... Elle peut ainsi être considérée comme un concept hybride entre science et gouvernance (Girault et Alpe 2011).

3.1. Visions romantique et cartésienne de la nature et protection de la biodiversité

Nous pouvons rapidement distinguer deux visions principales du rapport de l'homme à la nature qui se sont opposées : une vision cartésienne et une vision romantique⁶⁷. Nous allons présenter brièvement ces deux visions ainsi que les liens possibles avec des éléments fréquemment proposés dans le cadre de la protection de la biodiversité :

⁶⁷ Aux États-Unis, dans la première moitié du XXe siècle, ces deux visions vont donner lieu à un débat important entre le courant romantique-conservacionniste et le courant cartésien-préservationniste va se développer (Bergandi et Galangau-Quérat, 2008).

- La vision romantique se développe à partir d'une vision d'une nature se produisant d'elle-même, dite « *Natura naturans* ». Celle-ci sera développée par Spinoza (1632-1677) puis par les naturalistes du XVIII^e siècle (Larrère et Larrère, 1997). La nature devient un paradis perdu comme dans « l'Émile, ou de l'éducation » de Rousseau (1762/1961). L'Émile est la recherche de la nature sous les traces de la culture. Émile ne lit que Robinson Crusoé qui est une expérience imaginaire du principe de réalité avec une expérience de la vraie valeur des choses (Larrère et Larrère, 1997). Cette vision romantique est très présente dans le courant préservationniste porté par Muir (1838-1914) qui correspond à une vision romantique et non utilitariste de la nature, ainsi qu'à une relation plus équilibrée entre les Hommes et la nature (Bergandi et Galangau-Quérat, 2008). L'Homme devient perturbateur d'un équilibre préexistant. On trouve ceci aujourd'hui dans la décroissance et la notion de rapports authentiques. En termes de protection de la biodiversité, ceci conduit à envisager l'Homme comme perturbateur de la nature, vu comme destructeur de la biodiversité et il faut mettre en place des mesures pour limiter son impact. Les réserves naturelles et les zones protégées de l'action humaine constituent une solution privilégiée dans ce cadre.

- A l'inverse, avec le Christianisme, la nature est créée comme Dieu l'a prévue et l'Homme peut en disposer et la manipuler. Dans la Genèse, Dieu ayant donné en commun à l'humanité la Terre et tout ce qu'elle contient, il appartient aux Hommes non d'en disposer arbitrairement, mais d'en faire bon usage. Cette vision d'une nature créée, appelée « *Natura naturata* », sera développée à l'époque moderne par Descartes (1596-1650) (Larrère et Larrère, 1997). Cette vision sera également présente dans le courant conservationniste défendu par Pinchot (1865-1946) qui considère la nature en terme de ressources naturelles qu'il faut gérer (Bergandi et Galangau-Quérat, 2008). La biodiversité a alors une valeur instrumentale c'est-à-dire qu'elle est « *un moyen, au service d'une fin* » (Larrère, 2002, p.71). La biodiversité est vue comme une ressource à disposition de l'Homme qui doit en gérer l'exploitation. Lors de sa naissance sur la scène internationale, la biodiversité a été liée à une vision très

anthropocentrée basée sur une idée de biodiversité ressource pour l'Homme, comme en atteste le premier article de la convention de Rio (ONU, 1992) qui précise que « les objectifs de la présente Convention [...] sont la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques, notamment grâce à un accès satisfaisant aux ressources génétiques [...] ». En termes d'actions à mettre en place, des solutions techniques pour gérer la biodiversité sont envisagées (vision techniciste et d'ingénierie écologique). À une échelle plus individuelle, ce sont les « bons gestes » qui vont permettre de limiter l'impact de l'Homme (choix de fruits et légumes de saisons...) sans remettre en cause son mode de développement.

Si ces deux visions de la protection de la biodiversité perdurent, elles sont aujourd'hui largement remplacées par une approche liée aux services écosystémiques. Nous présenterons donc dans la suite ce que sont les services écosystémiques ainsi que leurs liens avec la biodiversité. Puis nous aborderons les notions éthiques qui sont associées à cette vision.

3.2. Protéger la biodiversité par la protection des services écosystémiques

En 2005, la publication du *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA), a constitué un événement majeur dans la gestion de la biodiversité (Girault et Alpe, 2011; Jax et al., 2013). Aujourd'hui, le MEA est la principale référence dans le domaine de la gestion de la biodiversité (Pesche, 2014). Il s'appuie sur la notion de services écosystémiques qui a connu une très forte croissance dans la littérature scientifique (Méral, 2012). Cette reconnaissance s'est aussi traduite par l'intégration de la notion de services écosystémiques dans plusieurs conventions internationales comme en Europe « la stratégie biodiversité de l'UE à l'horizon 2020 » dans laquelle la protection de la biodiversité est liée à la restauration des services écosystémiques. De même, en 2012, les Nations unies ont mis en place l'IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) qui intègre les services écosystémiques parmi ces fondements.

3.2.1. Définition des services écosystémiques.

Il existe de nombreuses définitions des services écosystémiques. Selon le MEA « *Ecosystem services are the benefits people obtain from ecosystems.*⁶⁸ » (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Cette définition se base sur deux définitions plus anciennes :

- celle proposée par Costanza et al. (1997) : « *Ecosystem functions refer variously to the habitat, biological or system properties or processes of ecosystems. Ecosystem goods (such as food) and services (such as waste assimilation) represent the benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions. For simplicity, we will refer to ecosystem goods and services together as ecosystem services.*⁶⁹ ». (Costanza et al., 1997, p.253)
- celle de Daily (1997) qui fait plus explicitement le lien avec la biodiversité : « *Ecosystem services are the conditions and processes through which natural ecosystems, and the species that make them up, sustain and fulfill human life. They maintain biodiversity and the production of ecosystem goods, such as seafood, forage timber, biomass fuels, natural fiber, and many pharmaceuticals, industrial products, and their precursors.*⁷⁰ ». (Daily, 1997, p.3)

⁶⁸ « [Traduction libre] Les services écosystémiques sont les avantages que les gens tirent des écosystèmes. »

⁶⁹ « [Traduction libre] Les fonctions de l'écosystème se réfèrent différemment à l'habitat, aux propriétés biologiques ou systémiques ou aux processus des écosystèmes. Les biens de l'écosystème (comme l'alimentation) et les services (tels que l'assimilation des déchets) représentent les avantages que les populations humaines tirent directement ou indirectement des fonctions des écosystèmes. Pour simplifier, nous nous référerons aux biens et services des écosystèmes en tant que services écosystémiques. »

⁷⁰ « [Traduction libre] Les services écosystémiques sont les conditions et les processus par lesquels les écosystèmes naturels et les espèces qui les composent soutiennent et comblent la vie humaine. Ils maintiennent la biodiversité et la production de biens écosystémiques tels que les produits de la mer, le bois de construction, les combustibles de la biomasse, les fibres naturelles et de nombreux produits pharmaceutiques, industriels ainsi que leurs précurseurs. »

Il ressort de ces trois définitions l'idée centrale que les services écosystémiques contribuent au bien-être humain. Le MEA classe les services en quatre catégories dont chacune pose des questions quant à sa définition (Tableau 4).

Tableau 4 : Présentation des quatre catégories de services et des exemples présentés dans le MEA (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) accompagnée de critiques possibles basées sur le travail de Maris (2014) (dans son travail, Maris ne distingue pas les services de régulation et de support).

Service	Présentation	Exemples	Critique possible
Services d'approvisionnement ou de prélèvement (provisioning services)	Produits issus des écosystèmes	Eau douce, bois de feu, ressources génétiques	D'apparence simple et facilement monétisable (il est possible d'évaluer économiquement une tonne de bois de feu), ces services posent question, car ils ne distinguent pas les services (intangibles) des biens (tangibles).
Services culturels (cultural services)	Bénéfices immatériels issus des écosystèmes	Bénéfices spirituels et religieux, culturel, d'inspiration, éducationnel	La réduction des valeurs portées par rapport à la nature à de simples services est un problème majeur sur lequel nous reviendrons dans la suite de ce chapitre.
Services de régulation (regulation services)	Bénéfices issus de la régulation des écosystèmes	Épuration des eaux, régulation des maladies	Les exemples du MEA sont essentiellement physico-chimiques et ne prennent que très peu en compte les dimensions évolutives et dynamiques.
Services d'auto-entretien ou de support (supporting service)	Services nécessaires à l'octroi de tous les autres services fournis par les écosystèmes	Production primaire, constitution des sols	Ce sont des fonctions nécessaires, mais la distinction avec les services de régulation est difficile

Dans tous les cas, les structures et le fonctionnement des écosystèmes ne deviennent des services écosystémiques que si l'Homme les utilise ou en a besoin de manière active ou passive (Jax et al., 2013). C'est donc bien une vision anthropocentrée qui est mise en avant. Les services écosystémiques actent clairement une approche socioécologique des questions de protection de l'environnement. De par leur fort développement depuis le MEA, ils sont devenus incontournables, mais ceci pose la question de leur rapport à la biodiversité. Nous allons donc aborder les implications des services écosystémiques dans la gestion et la préservation de la biodiversité.

3.2.2. Biodiversité et services écosystémiques.

Poser la question de la biodiversité dans le cadre d'une approche des services écosystémiques c'est poser la question de l'importance de celle-ci dans une vision basée sur les services. Le *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) met l'accent sur l'importance de la biodiversité. Pourtant, ceci est loin d'être une évidence. On estime notamment que 103 espèces fournissent actuellement 90 % de l'alimentation végétale dans le monde (Maris, 2014).

Il faut bien voir que les services écosystémiques sont pour beaucoup de biologistes de la conservation un moyen de rendre visible ce que la biodiversité a d'important. « *if you are interested in the welfare and the wellbeing of humans, you should be interested in biodiversity preservation, because biodiversity is the stuff on which ecosystems run, and the functions those ecosystems perform have a noticeable impact on our economy.*⁷¹ » (Deliège et Neuteleers, 2015, p.5).

⁷¹ « [Traduction libre] Si vous êtes intéressé par le bonheur et le bien-être des êtres humains, vous devriez vous intéresser à la préservation de la biodiversité car la biodiversité est le matériau sur lequel les écosystèmes fonctionnent et les fonctions de ces écosystèmes ont un impact évident sur notre économie. »

Ainsi, l'intégration des services écosystémiques permet de dépasser l'opposition entre la préservation de la nature et le développement économique (Figure 7a). La biodiversité devient un élément central du développement économique et du bien-être humain (Figure 7b). La biodiversité qui avait été initialement perçue comme une variable externe victime collatérale du développement de la société devient la base d'un système vertueux qui augmente le bien-être humain par son action sur les écosystèmes (Naeem, Chazdon, Duffy, Prager et Worm, 2016). Cette vision permet d'envisager que la biodiversité soit à la base d'une économie locale basée sur les services écosystémiques. Cependant, il reste à démontrer que la biodiversité est bien une base des services écosystémiques. Or, comme l'indiquent Schindler et al. (2016, p.1375) « *The impacts of the implemented measures on biodiversity and the provision of ecosystem services are largely undocumented and under-researched.*⁷² ». D'une manière générale, le lien entre biodiversité et services écosystémiques reste problématique, car il est évident que seule une partie de la biodiversité contribue aux principaux services écosystémiques. Ceci pose donc des questions sur l'importance de certaines mesures de protection et notamment pour le cas des espèces rares et en danger qui sont souvent mises en avant en termes de protection alors qu'elles ne rendent pas de services très évidents.

Il est aussi possible de considérer le lien entre services écosystémiques et biodiversité d'une manière moins linéaire (Figure 7c). Le fait de considérer que la biodiversité va conduire à améliorer le bien-être humain aussi en terme culturel et que, en retour, le bien-être humain va permettre de protéger la biodiversité est représentatif des approches gagnant-gagnant (« *win-win* » en anglais). Ce type de pensée se heurte cependant à une difficulté lors de sa mise en œuvre notamment, car il ne prend pas assez en compte l'existence de nombreux acteurs et

⁷² « [Traduction libre] Les impacts des mesures mises en œuvre sur la biodiversité et la fourniture de services écosystémiques sont en grande partie non documentés et sous-étudiés. »

la complexité des systèmes écosociaux (McShane et al., 2011, p.967). En fait, les scénarios gagnant-gagnant ne semblent pas pouvoir dépasser des cas locaux et limités à certains acteurs.

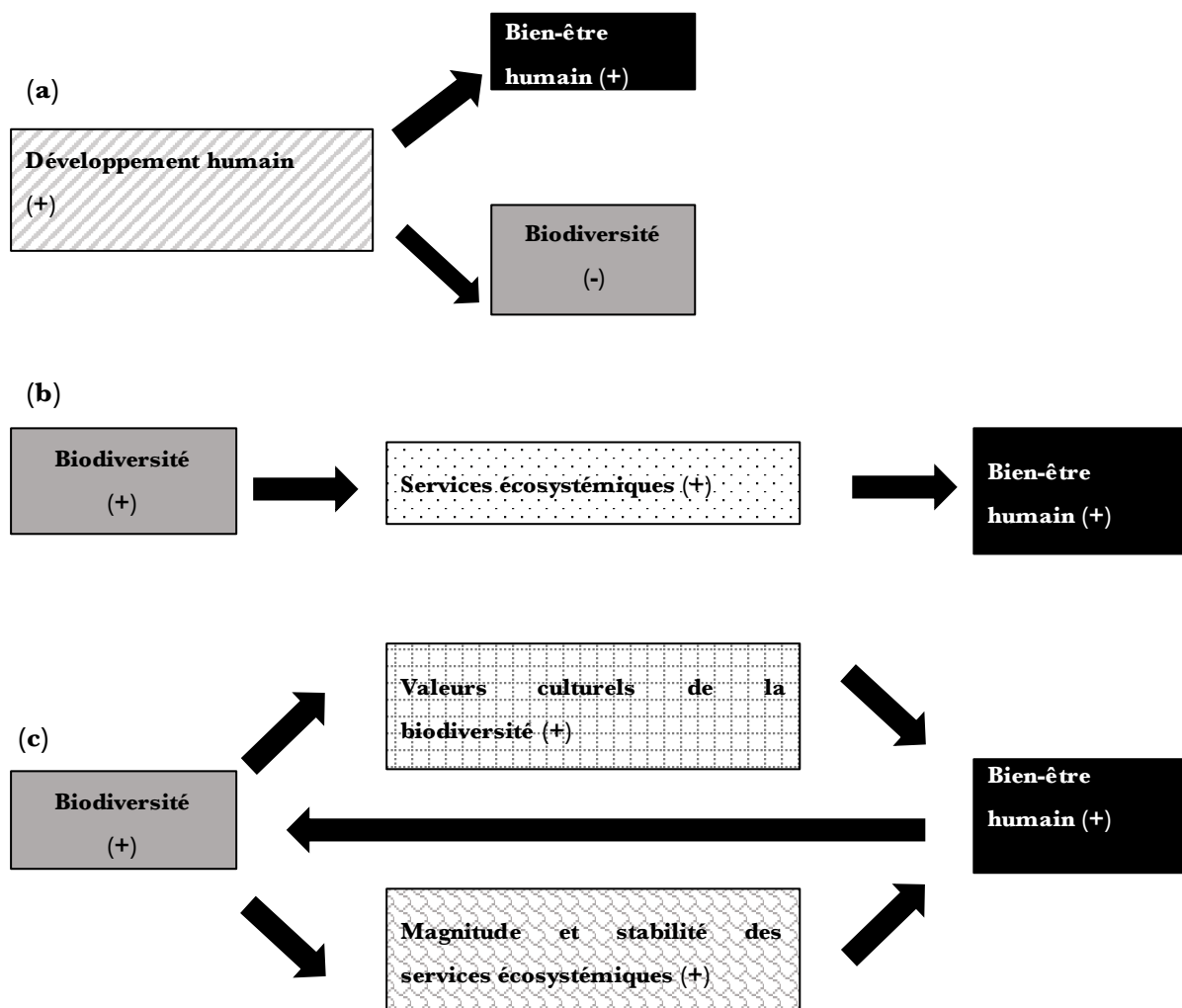


Figure 7 : trois modèles qui présente le lien entre biodiversité et bien-être humain (modifié d'après Naeem et al. (2016)). Les flèches représentent le lien causal et les signes entre parenthèses indique l'augmentation (+) ou la diminution (-). La situation (a) correspond à une vision où le développement humain permet d'augmenter le bien-être au détriment de la biodiversité. La situation (b) est proposée dans le cadre du développement des services écosystémiques qui permettent ainsi d'envisager que l'augmentation de la biodiversité contribue au développement du bien-être humain. La situation (c) est une situation de type gagnant-gagnant qui considère que la biodiversité va conduire à améliorer le bien-être humain par le développement des services écosystémiques et par les valeurs culturelles et que, en retour, le bien-être humain va permettre de protéger la biodiversité.

D'une manière générale, ce sont plutôt les conflits entre acteurs qui sont la norme.

*Conservationists need to make greater efforts to more effectively consider trade-off choices between different points-of-view, determine at what levels biodiversity loss is acceptable, mitigate human costs, and broaden the decision-making process. At the same time, development that ignores the benefits that humans derive from ecosystems and natural resources will ultimately prove unsustainable. The challenge for the conservation and development community is to engage in a social process that allows for compromise and the explicit acknowledgement of risks and costs, while at the same time gaining ever more clarity and purpose regarding those things that should not be traded off.*⁷³ (McShane et al., 2011, p.970).

Cette idée de trouver des compromis et de déterminer quel est le niveau de perte de biodiversité acceptable renvoie à un questionnement sur les positionnements éthiques possibles face aux choix à réaliser. En effet, s'il faut trouver des compromis, il faut aussi être capable de se poser la question de la valeur de ce qui est en jeu. Ceci rejoint les réflexions sur l'anthropocentrisme et sur les valeurs instrumentale et intrinsèque de la biodiversité mais en intégrant les réflexions sur les différentes éthiques environnementales (Larrère, 2002; Maris, 2006) que nous allons donc développer dans la prochaine partie.

⁷³ « [Traduction libre] Les défenseurs de la conservation doivent faire plus d'efforts pour mieux envisager les choix entre les différents points de vue, déterminer à quels niveaux la perte de biodiversité est acceptable, atténuer les coûts humains et élargir le processus décisionnel. En même temps, le développement qui ignore les avantages que les humains tirent des écosystèmes et des ressources naturelles finira par être insoutenable. Le défi pour la communauté de la conservation et du développement est de s'engager dans un processus social qui permet un compromis et la reconnaissance explicite des risques et des coûts, tout en gagnant plus de clarté sur les choses qui ne devraient pas être abandonnées. »

4. POSITIONNEMENTS ÉTHIQUES ET SERVICES **ÉCOSYSTÉMIQUES**

Le rapport de l'Homme à la nature est une interrogation philosophique très ancienne. Mais cette question va conduire au début des années 1970 au développement d'une réflexion éthique environnementale spécifique. En 1973, Routley pose la question « *Is There a Need for a New, an Environmental, Ethic ?*⁷⁴ ». Cette question peut être considérée comme le début du développement des travaux portant sur l'éthique environnementale en particulier dans les pays anglophones (Larrère, 2011). Nous allons présenter ces travaux ainsi que leur lien avec les services écosystémiques.

4.1. Éthique environnementale

En réaction à un positionnement anthropocentré qui oppose les personnes humaines et les autres êtres vivants considérés comme des choses, l'éthique environnementale va considérer que tout individu vivant est digne de considération morale : « c'est ce qu'on appelle le biocentrisme, et cela fonde une éthique du respect à l'égard de la nature » (Larrère, 2011, p.66). Dans ce cadre, on peut considérer que la biodiversité porte une véritable valeur intrinsèque en ce sens qu'elle est « une fin en soi » (Larrère, 2002, p.71)⁷⁵. Cette valeur intrinsèque est centrale : « En plus des êtres humains, la nature (ou des parties quelconques de la nature) a-t-elle une valeur intrinsèque ? Telle est la question *théorique* centrale en éthique

⁷⁴ [Traduction libre] Avons-nous besoin d'une nouvelle éthique, une éthique environnementale ?

⁷⁵ Sur ce sujet il est aussi possible de prendre un point de vue plus anthropologique présenté notamment par Descola (Descola, 2005).

environnementale. Comment découvrir la valeur intrinsèque : telle est la question par laquelle se définit l'éthique environnementale. » (Callicott, 2007, p. 191)

Cette approche biocentrée n'accorde cependant aucune place à autre chose qu'aux individus. Ceci pose un problème dans une approche de protection de la nature qui travaille généralement à la protection d'espèces, de populations ou de milieux. C'est donc à une autre échelle que se pose parfois la question éthique. La « *Land ethic* » développée par Leopold (1948/2000) qui considère que chaque être humain fait partie d'une communauté d'êtres vivants, va servir de base à une éthique dite écocentrée (Callicott, 2010). Dans ce cadre « Une chose est juste lorsqu'elle tend à préserver l'intégrité, la stabilité et la beauté de la communauté biotique. Elle est injuste lorsqu'elle tend à autre chose. » (Leopold, 1948/2000, p. 283). Cette approche a également donné lieu à la naissance du courant de la *Deep Ecology*⁷⁶ qui considère l'égale dignité de tous les êtres vivants. Nous ne développerons pas ici les aspects moraux et les valeurs associées à ces approches écocentrées (nous reviendrons cependant sur la question des valeurs à la fin de ce travail). Ce positionnement rejoint celui de Larrère :

Si l'écocentrisme se révèle intéressant, c'est donc moins comme une position axiologique (accordant une valeur à la communauté comme telle) que comme une façon de nous situer dans le monde, dans un contexte dont nous faisons partie, mais au centre duquel nous ne sommes pas nécessairement situés, et où nous découvrons la multiplicité des réseaux d'interdépendance qui lient humains et non-humains.

Larrère (2010, p. 412)

Ces éthiques biocentrées et écocentrées ont permis de poser autrement la question du rapport de l'Homme à la Nature. En effet, elles replacent l'homme comme appartenant à la nature et permettent de dépasser le dualisme Homme/nature. De plus d'un point de vue scientifique,

⁷⁶ La *Deep Ecology* est souvent mal comprise en France. Le terme est fréquemment utilisé comme synonyme d'éthique environnementale (Pour une discussion sur le lien entre deep ecology et éthique environnementale, voir Larrère, 2011)

nous avons vu que l'idée d'une nature à l'équilibre (basée sur la notion de climax) est aujourd'hui largement abandonnée au profit de visions basées sur l'existence de dynamiques complexes. La nature a donc une histoire et il ne s'agit plus de la préserver de l'Homme vu comme perturbateur. Cette appartenance de l'Homme à la nature est souvent défendue par des scientifiques, par tous ceux qui mettent les disciplines biologiques (écologie, théorie de l'évolution, sociobiologie, biologie de la conservation...) au service de la protection de la nature (Larrère, 2011). On observe ainsi une convergence de positionnement entre les éthiques environnementales (en particulier écocentrées) et des approches scientifiques, qui a conduit à passer massivement de l'idée d'une protection de la nature à celle d'un « pilotage de la biodiversité » (Blandin, 2009). Comme nous l'avons vu précédemment, ce pilotage de la biodiversité s'est largement réalisé via la mise en place de la notion de services écosystémiques. Nous allons donc regarder les aspects éthiques liés aux services écosystémiques.

4.2. Notions éthiques et services écosystémiques

D'une manière paradoxale, les services écosystémiques sont considérés comme une avancée dans le cadre de la protection de la biodiversité alors que d'un point de vue éthique, ils semblent s'ancrer dans un retour à l'anthropocentrisme. Ceci est particulièrement vrai pour les travaux qui cherchent à donner une évaluation économique des services écosystémiques.

D'une manière plus générale, les services écosystémiques sont un véritable changement dans la vision de la protection de l'environnement. « *Conservationists have always used various metaphors to characterize nature and its values. For example, John Muir (cited in Nash 1982, p. 168) referred to forests as “cathedrals of the people,” [...]. To regard nature as a provider of services is one particular metaphor that*

*carries different kinds of value [...].*⁷⁷ » (Luck et al., 2012, p.1022). Si « le concept même de services [...] est souvent considéré de façon naïve comme allant de soi [il] est une notion complexe, caractérisée par sa dimension relationnelle et normative. » (Maris, 2014, p.29). Ces deux éléments peuvent être illustrés par le schéma (Figure 8) proposé dans le (Millenium Ecosystem Assessment, 2005, p.vi) :

- Celui-ci illustre l'aspect relationnel, car chaque bénéfice produit par un écosystème ne l'est que par le lien qui se crée avec les sociétés humaines. Dans ce cadre relationnel, les services écosystémiques rabattent la question de relation écosystèmes-hommes aux seules relations positives. Les services neutres, voire négatifs (aussi appelés disservices), sont mis de côté (Lévêque, 2007).
- La Figure 8 illustre aussi le côté normatif de ce concept. Les services écosystémiques servent à développer le bien-être basé sur les « libertés et possibilités de choisir ». Maris (2014) souligne le parti pris individualiste et libéral de cette position qui considère que le bien-être passe par la liberté et le choix d'actions individuelles. Bien que ceci ne soit pas en soi une limite du concept, il semble important que ce parti pris soit mis en avant, ce qui n'est pas le cas dans le MEA ni dans beaucoup de travaux qui en ont découlé.

L'idée des services écosystémiques est devenue très importante pour la protection de la biodiversité notamment car elle met en évidence la dépendance des écosystèmes et des sociétés humaines. Les services écosystémiques sont aujourd'hui un élément fondamental pour toute

⁷⁷ « [Traduction libre] Les personnes impliquées dans la conservation ont toujours utilisé diverses métaphores pour caractériser la nature et ses valeurs. Par exemple, John Muir (cité dans Nash 1982, p. 168) a désigné les forêts comme les « cathédrales du peuple », [...]. Considérer la nature comme un fournisseur de services est une métaphore particulière qui porte d'autres types de valeurs [...]. »

mise en œuvre de projet d'aménagement. Ils ont favorisé la recherche interdisciplinaire et transdisciplinaire et ont mobilisé pour médier les discussions sur la gestion appropriée de la biodiversité entre différents groupes d'intérêt. Ils posent aussi des questions dans une perspective d'éthique environnementale.

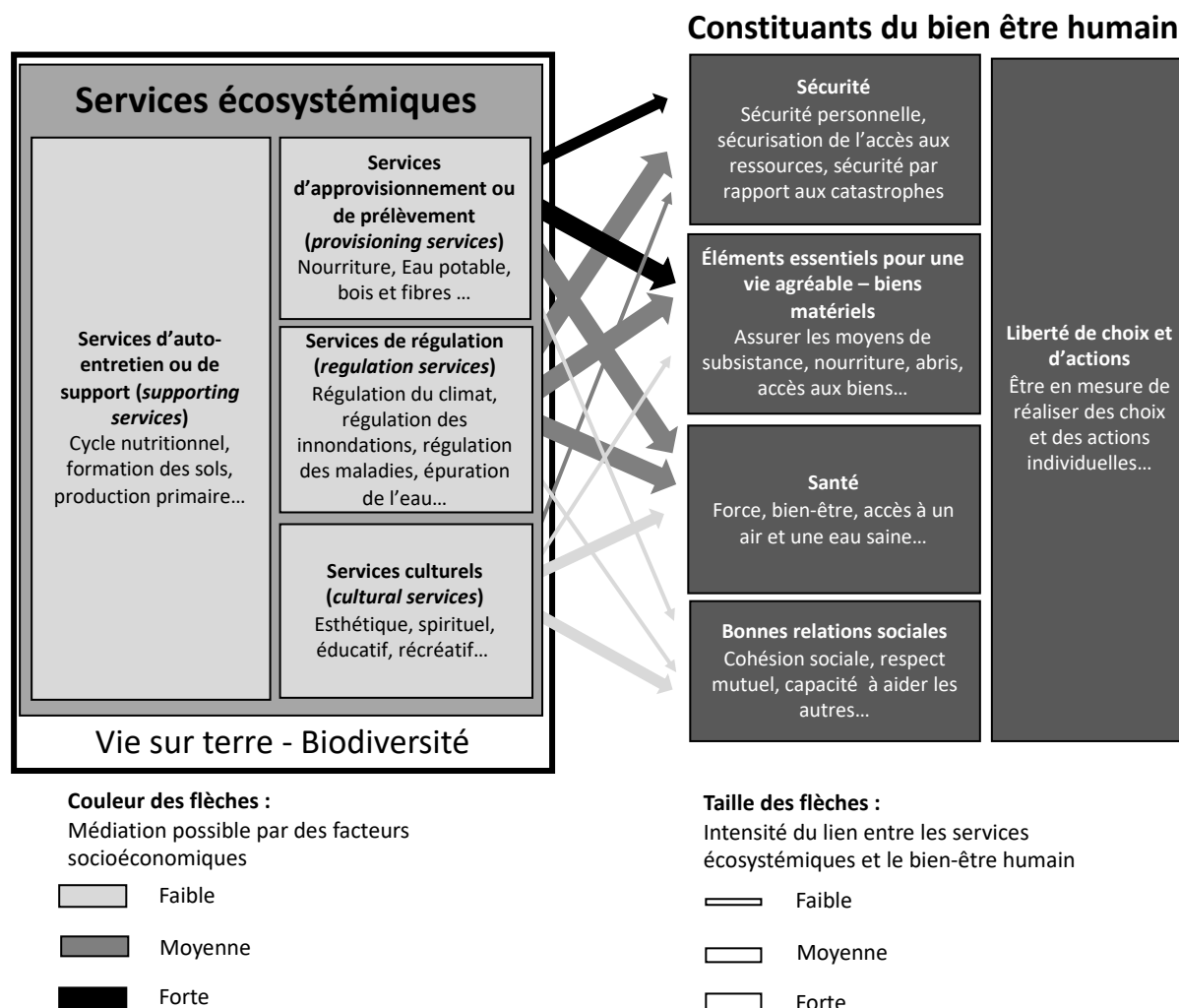


Figure 8 : Liens entre les services écosystémiques et le bien-être humain (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Cette figure illustre la force des liens entre les différentes catégories de services écosystémiques et les composantes du bien-être humain et inclut des indications sur la mesure dans laquelle il est possible que des facteurs socioéconomiques médient ce lien (par exemple, s'il est possible d'acheter un substitut à un service écosystémique dégradé, il existe un fort potentiel de médiation socioéconomique). La force des liens et le potentiel de médiation diffèrent selon les écosystèmes et les régions. Outre l'influence des services écosystémiques sur le bien-être humain, d'autres facteurs - y compris d'autres facteurs environnementaux ainsi que des facteurs économiques, sociaux, technologiques et culturels - influencent le bien-être humain et les écosystèmes sont à leur tour affectés par des changements dans le bien-être humain.

4.3. Biotechnologies, des débats éthiques en devenir

Les nouvelles voies ouvertes par les avancées technoscientifiques génèrent de nouvelles controverses accompagnées de débats éthiques. Certaines de ces avancées induisent des formes de maîtrise du vivant inédites. Sans vouloir développer ici l'ensemble de ces évolutions, on peut prendre deux exemples de débats récents sur la technologie de forçage génétique et sur les approches de l'être humain augmenté.

- La technologie de forçage génétique utilise une cassette d'ADN « *gene drive* » qui va se répandre dans la population. En relâchant 10 individus porteurs d'une cassette d'ADN dans une population naturelle, on peut théoriquement obtenir en quelques dizaines de générations une population entièrement contaminée par la cassette « *gene drive* » (Morizot et Orgogozo, 2016). Cette technologie est aujourd'hui envisagée pour introduire un gène conduisant à la stérilité chez les femelles des moustiques responsables de la transmission du paludisme (Hammond et al., 2016). Ces développements biotechnologiques posent de nombreuses questions techniques (notamment liées aux possibles transmissions non contrôlées de la cassette d'ADN suite à des hybridations) mais aussi éthiques, car elle permet d'envisager la manipulation directe des êtres vivants en fonction de l'intérêt pour l'Homme.
- La réflexion sur l'être humain augmenté est beaucoup plus ancienne. Certains auteurs situent les réflexions actuelles dans la suite des réflexions des Lumières sur l'amélioration de l'Homme : « Quelles seraient donc pour l'homme la certitude, l'étendue de ses espérances si l'on pouvait croire que ces facultés naturelles elles-mêmes, cette organisation sont aussi susceptibles de s'améliorer » (Condorcet, 1847, p. 272). Cette question a connu ces dernières années un virage important puisqu'il devient techniquement pensable d'augmenter la durée de la vie humaine, mais aussi ses capacités physiques, intellectuelles et morales (Missa, 2013). L'Homme pourrait alors décider de sa propre hérédité et donc maîtriser sa propre évolution ce qui place l'humanité face à des débats éthiques extrêmement importants (Wilson, 2000a).

Ces deux exemples illustrent une dimension émergente des débats sur la biodiversité liée à ces développements biotechnologiques qui ouvrent de nouvelles pistes de réflexion. Bien qu'encore largement virtuelles, ces biotechnologies sont peut-être en train de faire naître la possibilité pour l'Homme de manipuler les génomes avec facilité. Elles dessinent probablement les futures interrogations sur le rapport de l'Homme à la nature et sur les questionnements éthiques liés à cette possibilité d'interagir directement avec les génomes de manière à manipuler la biodiversité.

C- Bilan du cadre épistémologique

Dès le deuxième paragraphe de notre introduction, nous avons posé la question centrale de notre travail de recherche qui est de savoir comment la biodiversité a été scolarisée. En France, la biodiversité a été largement intégrée au sein d'un enseignement de type scientifique. Notre analyse épistémologique nous a permis de mettre en évidence la richesse de cette notion à la fois du point de vue scientifique et du point de vue de la protection de la biodiversité et de déterminer un certain nombre de repères :

Du point de vue scientifique, nous avons structuré notre analyse autour de deux visions :

- Une approche que nous avons nommée « L'inventaire naturaliste de la biodiversité ». L'espèce y est considérée comme ayant une réalité et est définie au sens biologique dans une approche dite populationnelle fondée sur l'interfécondité. Au niveau écologique, cette approche a longtemps reposé sur l'idée de stabilité des écosystèmes (le Climax) mais cette vision est aujourd'hui laissée de côté au profit d'approches qui intègrent des dynamiques spatiales complexes et des notions de perturbations, de résistance et de résilience des écosystèmes. Ceci a conduit à poser la question non résolue aujourd'hui du lien entre diversité spécifique, fonctionnement et résilience des écosystèmes.
- Une autre approche qui se situe sur les dynamiques évolutives de la biodiversité. Ici, l'espèce ne peut être considérée en dehors du processus évolutif qui lui a donné naissance et ne représente qu'un niveau arbitraire déterminé au sein de la dynamique temporelle évolutive. La diversité observée est à la fois le produit de l'histoire évolutive mais aussi le fondement des possibles évolutions et adaptations futures et il convient donc de chercher à déterminer le potentiel évolutif dans une approche qui peut être rapprochée des modèles de flux.

Concernant la protection de la biodiversité, elle est aujourd'hui largement traitée par l'utilisation du concept de services écosystémiques. Cependant le lien entre la biodiversité et les services écosystémiques reste peu clair et pose des questions éthiques notamment face à la question de savoir s'il existe un niveau de perte de biodiversité acceptable. Nous avons montré que le positionnement des éthiques biocentrées et écocentrées peut paraître en contradiction avec l'approche anthropocentrée, relationnelle et normative que portent les services

écosystémiques. Ceci conduit donc à souligner l'importance de la prise en compte de la dimension éthique dans l'utilisation des services écosystémiques.

Ce résumé rapide de notre analyse épistémologique peut être représenté sous forme graphique selon 2 axes structurants qui correspondent à l'étude scientifique et à la protection de la biodiversité (

Figure 9). Cette figure illustre les dimensions scientifiques mais aussi sociales et éthiques qui sont liées à la compréhension de la biodiversité dans ces différentes dimensions.

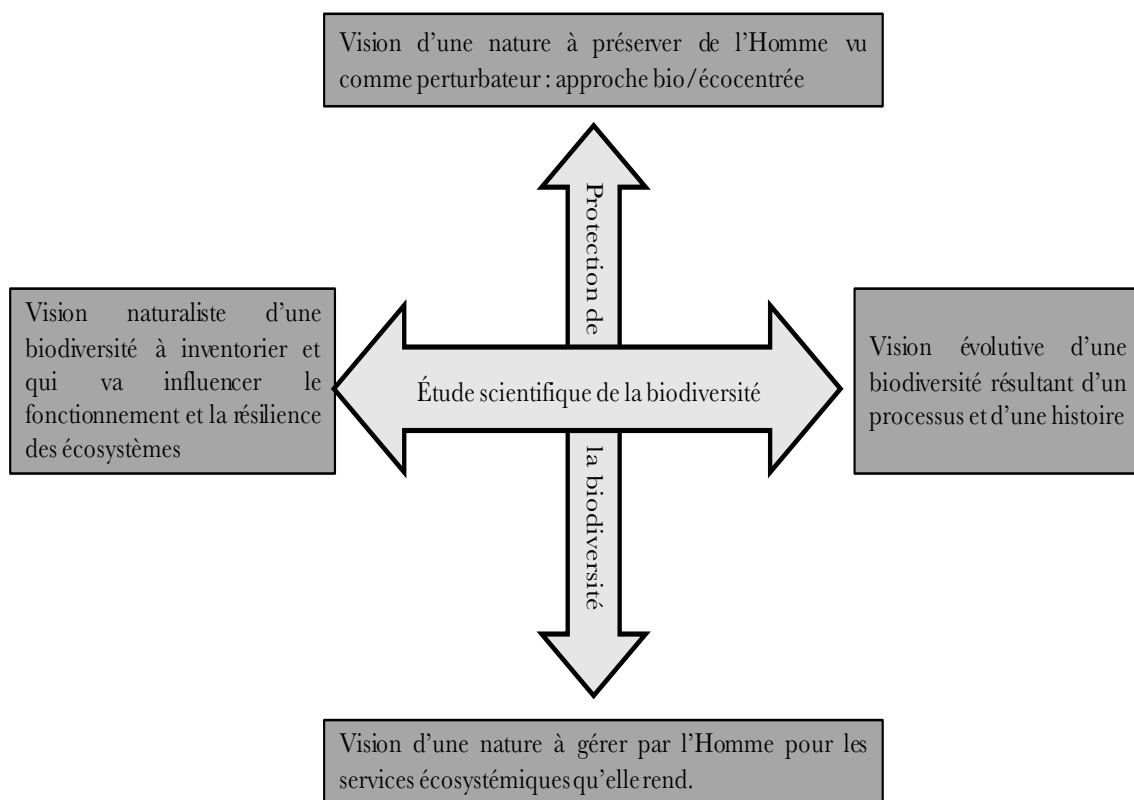


Figure 9 : Représentation schématique des deux principaux axes de structuration épistémologique de la notion de biodiversité développés dans cette première partie

L'ensemble du travail présenté jusqu'à présent est donc à la fois un travail de clarification mais aussi d'exploration des possibles de l'enseignement de la biodiversité. De par son apparition et son évolution, l'idée de biodiversité témoigne en fait d'une mutation plus large en cours des objets et des problèmes d'études des sciences biologiques qui se renouvellent, s'anthropisent et se complexifient en particulier dans les domaines liés à la biologie de la conservation. Cette évolution semble nécessaire. « *Close involvement of social researchers with their expertise, theories and methods, into conservation biology is a prerequisite for progress in the field*⁷⁸. » (de Snoo et al., 2013, p.65). Notre travail se situe dans cette convergence puisque nous nous intéressons à la question de la biodiversité dans le cadre des sciences de l'éducation et plus particulièrement dans le cadre de la didactique des sciences. Ceci nécessite de prendre en charge les spécificité des sciences humaines (Bennett et al., 2017).

Nous avons utilisé ces deux dimensions et l'ensemble de notre analyse épistémologique de la biodiversité pour construire une grille d'analyse des dimensions épistémologiques qui nous permet de structurer *a priori* les différents éléments que nous allons analyser (Tableau 5, p. 104). Cette grille met en évidence la richesse potentielle de cette notion et par la même pose la question de l'empan de cette recherche et des méthodologies à mettre en œuvre pour intégrer cette dimension exploratoire. Nous avons choisi d'aborder ces défis par une réflexion sur deux plans complémentaires :

- Une approche curriculaire qui analysera la manière dont la biodiversité est abordée dans les programmes (D - La scolarisation de la biodiversité, approche curriculaire, p.109-159).

⁷⁸ [Traduction libre] Une participation plus étroite des chercheurs en sciences sociales avec leur expertise, leurs théories et leurs méthodes, dans la biologie de la conservation est une condition préalable à la réalisation de progrès dans ce domaine.

- Une approche de didactique des sciences basée sur une étude de cas réalisée dans deux classes de troisième (E - La scolarisation de la biodiversité, étude de cas sur les conditions d'apprentissages des élèves, p.159-198).

Ces deux approches complémentaires seront aussi l'occasion de mobiliser des méthodologies de recherche variées. L'ensemble de ces travaux d'analyse sera réalisé de manière à permettre une exploration de différents aspects de l'enseignement de la biodiversité. En ce sens, nous visons essentiellement dans la suite de ce travail, une description en profondeur des choix réalisés ainsi que des tensions engendrées par la scolarisation de la biodiversité. Nous chercherons aussi à articuler ces choix aux autres possibles d'un enseignement de la biodiversité.

Tableau 5 : Tableau synthétique des principaux éléments épistémologiques de la biodiversité que nous avons présentés. Pour chaque thématique, différentes catégories sont présentées avec une brève description. Pour chacune d'elles, nous avons indiqué la partie du texte qui présente ces éléments ainsi la première page de cette partie.

	Niveaux d'appréhension	Description	Pages
Classification du vivant	Application d'une recette (différences, points communs).	La classification réalisée est simplement une présentation graphique d'un tableau de caractères sous forme de groupes emboîtés ou d'arbres simplifiés.	24
	Présence d'une dimension évolutive (notion de parenté).	La notion de parenté est utilisée.	63
	Lecture d'arbres phylogéniques.	L'utilisation d'arbres phylogénétiques permet de mettre en place la notion de phylogénie.	63
	Construction d'arbres phylogéniques avec réflexion sur les critères. Notions d'homologies et/ou d'états de caractère (ancestral, dérivé).	Les critères utilisés pour réaliser le tableau de caractères sont étudiés permettent d'aborder de manière plus ou moins poussée les notions d'homologies et/ou d'états de caractère (ancestral, dérivé).	63
	Construction de différents arbres (cladistiques/ phénétiques...) et notions associées.	La classification phylogénétique n'est plus vue comme une méthode unique et mécanique ; la complexité de ces approches est abordée (phénétique et cladistique ou critères de parcimonie).	63
Définition de l'espèce	Typologique (linnéenne).	L'espèce est présentée de manière typologique.	24
	Définition biologique et populationnelle de l'espèce	L'espèce est définie comme un groupe d'individus interféconds. L'espèce est présentée à un niveau populationnel.	28
	Populationnelle et évolutive.	L'espèce est présentée comme un ensemble d'individus qui échangent des gènes et donc qui évoluent ensemble. L'histoire évolutive est prise en compte (définition évolutive ou phylogénétique de l'espèce)	63
Théorie de l'évolution	Modèles explicatifs scientifiques.	L'évolution est soit une idée générale illustrée par des « faits » soit un modèle explicatif « simple » (Orange 2008).	
	Approche historique.	L'évolution est un cadre théorique permettant d'établir un paradigme scientifique général (Orange 2008). Elle intègre une réflexion historique.	70
Écologie	Description d'écosystèmes	Les écosystèmes terrestres sont simplement décrits. (Astolfi & Drouin 1987). Au sein des écosystèmes, des relations entre êtres vivants peuvent être présentées (réseaux trophiques...) mais de manière descriptive (Astolfi 1987). L'ensemble correspond à l'idée d'écosystèmes stables.	42
	Approche fonctionnelle et/ou dynamique des écosystèmes.	Le lien entre la structure des écosystèmes et leur fonctionnement est présenté. (Astolfi 1987). La notion de dynamique écosystémique peut être présentée.	48
	Notion de résilience	La dynamique temporelle des écosystèmes est prise en compte à travers la notion de résilience face aux perturbations	48

Mesure de la biodiversité	Richesse spécifique	La richesse spécifique est la seule mesure proposée	35
	Indices de biodiversité	Utilisation d'indices de biodiversité (Simpson et/ou Shannon) permettant de prendre en compte l'équitabilité	37
	Diversité génétique	La diversité génétique est mesurée. Elle est présentée de manière statique	75
	Potentiel évolutif	Mesure du potentiel évolutif par l'intégration de données génétiques mais aussi fonctionnelles et historiques	76
Protection ou gestion de la biodiversité	L'Homme est vu comme destructeur de la Nature	L'Homme est destructeur de la biodiversité. Si une action positive est envisagée, elle consiste à protéger la biodiversité de l'influence du développement de la société.	82
	Présentation consensuelle de « bons gestes » ou de solutions techniques pour protéger la biodiversité.	Approche centrée sur l'acquisition de comportements adaptés, sur l'apprentissage de gestes écocitoyens.	85
	Homme gestionnaire de la biodiversité (solutions techniques pour protéger la biodiversité).	La protection de la biodiversité est envisagée dans le cadre d'une gestion par l'Homme. Si les services écosystémiques sont présentés, il s'agit essentiellement des services d'approvisionnement ou de prélèvement (<i>provisioning services</i>)	84
	La biodiversité est vue comme un facteur des services écosystémiques dans leur ensemble	Présentation de la biodiversité dans le cadre de l'ensemble des services écosystémiques (Services d'approvisionnement ou de prélèvement mais aussi culturels de régulation, d'entretien ou de support). Présence de questionnements sur les liens entre biodiversité et services écosystémiques et sur les limites de ce type d'approche.	84
Positionnement éthique	Aspects sociétaux pris en compte dans une vision anthropocentrée.	Anthropocentrisme considérant l'écologie au service strict des humains (Gaillard 2009).	91
	Prise en compte de quelques aspects éthiques de la gestion de la biodiversité.	La dimension éthique est envisagée au moins du point de vue de la légitimité pour l'humanité de détruire la diversité du vivant.	91
	Vision biocentrée	Les êtres vivants possèdent leur propre légitimité au-delà des intérêts humains (biocentrisme, Gaillard 2009).	91
	Vision écocentrée	Au-delà des individus, ce sont les populations, les espèces et plus généralement les écosystèmes qui sont considérés. L'idée centrale est qu'une chose est juste lorsqu'elle tend à préserver l'intégrité, la stabilité et la beauté de la communauté biotique.	91
Biotechnologies	Présentation des développements récents des biotechnologies	Les biotechnologies sont présentées mais seul le côté technique est évoqué.	97
	Présence de questionnements éthiques liés aux biotechnologies	Présence d'un questionnement sur les implications éthiques des développements biotechnologiques.	97

PARTIE II – Etudes de la biodiversité dans le cadre scolaire

D'un point de vue éducatif, la biodiversité semble pouvoir rejoindre le courant des éducations environnementales qui naissent pleinement à la fin des années 1970. Nous présentons dans l'annexe 1 un rapide historique de ces éducations environnementales notamment en ce qui concerne leur positionnement face aux disciplines institutionnalisées dans le cadre du contexte scolaire français et de l'émergence des approches liées au développement durable au début du XXI^{ème} siècle. Cet historique montre que les textes récents proposent une inflexion de la vision portée par l'éducation à l'environnement pour rejoindre le cadre conceptuel des « éducations à... ». Les « éducations à » sont présentes dans le champ francophone de l'éducation et comprennent l'éducation à la santé, l'éducation aux médias, l'éducation à la citoyenneté...

Les « éducations à » se caractérisent notamment par leur centration sur des questions et des pratiques sociales. Ceci conduit Lange (2013, 2014) à souligner que les « éducations à » seraient un projet éducatif a-disciplinaires et au caractère mobilisateur. De la même manière, Legardez et Alpe (2013) identifient les particularités des « éducations à » par rapport à un enseignement « classique » notamment par leur dimension non disciplinaire, « transversale » en lien avec des questions socialement vives et par leur objectif de faire évoluer les comportements, pour préparer à l'action. Les « éducations à » seraient donc porteuses de deux particularités : un caractère non ou a-disciplinaire et proactif. Ces deux points méritent qu'on s'y attarde dans le cadre de notre réflexion sur l'enseignement de la biodiversité.

Vision interdisciplinaire ou a-disciplinaire

L'éducation à l'environnement puis au développement durable s'est construit depuis les années 1970 en France entre une volonté de dépasser les disciplines (approches inter, pluri, trans, a-disciplinaires) et une intégration au sein des curriculums disciplinaires (annexe 1). En général on considère qu'une « éducation à » intégrée dans une discipline risque de prolonger les pratiques traditionnelles d'enseignement de savoirs disciplinaires (Victor et Lange, 2012). Ceci aboutit donc à la volonté de ne pas lier les « éducations à » à un champ disciplinaire par crainte que les savoirs construits ne soient dévoyés de l'objectif initial notamment par la perte de ce qui les lie à des questions de société :

La « disciplinarisation » de l'ÉDD dans les manuels et les projets des enseignants, c'est-à-dire la reconfiguration des contenus relatifs à l'ÉDD (tout ce que l'élève doit acquérir, qu'il s'agisse de savoirs ou de finalités) selon les normes de la discipline scolaire, [...] aboutit à perdre le rapport au contexte politique et la signification sociale de l'ÉDD (ce qui est pourtant à l'origine de sa prescription comme éducation à) puisque tout ce qui est enjeux politiques et débats de société est effacé » (Tutiaux-Guillon, 2011, p.2)

Cependant pour certains ce positionnement a-disciplinaire n'est pas souhaitable. Dans un article à charge, Beitone critique fortement cette vision des éducations à et affirme que : « Remettre en cause l'organisation disciplinaire des savoirs revient donc, [...] du point de vue de l'enseignement scolaire, à remettre en cause la fonction de transmission des savoirs de l'école et la légitimité des enseignants » (Beitone, 2004). Il nous semble que, si le risque de glissement vers un savoir de sens commun est réel, le caractère a-disciplinaire ne doit pas être compris comme antidisciplinaire.

En fait, cette opposition entre disciplines scolaires (avec un possible éparpillement des problèmes) et éducation a-disciplinaire (avec une perte possible de la construction de savoirs légitimes) pose un débat stérile car les deux points de vue ne s'opposent pas. Ainsi « prendre au sérieux ces éducations [...] nécessite d'accepter aussi une légitimité sociale aux contenus abordés à l'école » (Victor et Lange, 2012, p.39) ; en même temps « Le rôle de l'école c'est de former les élèves à faire usage de leur propre raison et pour cela de leur fournir les connaissances scientifiques, philosophiques, littéraires, à partir desquelles ils pourront forger leur point de vue éthique et politique et participer à la délibération publique » (Beitone, 2004, conclusion). Donc,

« [si les éducations à] malmènent quelque peu la forme scolaire classique par leur caractère mixte de savoir et de valeur, par leur exigence d'interdisciplinarité et leur référence à la décision et aux pratiques, elles peuvent échapper au dogmatisme, au militantisme et au relativisme et constituer une introduction au monde problématique qui est le nôtre (Fabre, 2011). » (Fabre, 2014, conclusion)

Face au risque de dédisciplinarisation, il semble donc nécessaire de considérer les « éducations à » d'une manière différente de celle d'une alternative aux disciplines et de « penser leur problématisation et de nouvelles disciplinarisations. » (Orange Ravachol, 2014, conclusion). Pour aborder cette question, le contexte d'implantation de la biodiversité dans les programmes scolaires de l'enseignement Français semble intéressant. En effet, la biodiversité a été intégrée de manière quasi-exclusive dans les programmes scolaires de sciences et technologie et de SVT. La biodiversité offre donc l'occasion de mieux comprendre comment

un concept profondément marqué par des questions sociales et scientifiques s'intègre dans une discipline scientifique institutionnalisée. Nous réaliserons une analyse curriculaire des programmes français pour mettre en évidence les tensions de cette intégration de la biodiversité (PARTIE D - La scolarisation de la biodiversité, approche curriculaire, p.110). Nous allons aussi aborder la mise en action qui est un autre point clef des « éducations à ».

Importance de la mise en action

Le terme biodiversité, qui est littéralement la contraction de l'expression « diversité biologique », a été choisi par des biologistes impliqués dans la protection de la nature (voir Chapitre 3, p.82) et ce néologisme de biodiversité était dès le début un moyen de diffuser les travaux de biologie de la conservation pour favoriser la mise en place des actions de protection de la nature (Micoud, 2005). Il semble donc essentiel de penser un enseignement de la biodiversité qui conduise à la mise en place de comportements pro-environnementaux (Girault, Lange, Fortin-Debart, Delalande Simonneaux et Lebeaume, 2007), que l'on peut définir comme toute action qui améliore la qualité de l'environnement (Steg, Bolderdijk, Keizer et Perlaviciute, 2014). Plus précisément, la définition de Kollmus et Agyeman considère qu'un comportement pro-environnemental est un comportement adopté par un individu qui décide consciemment de minimiser ses impacts négatifs sur le monde naturel et construit (Kollmuss et Agyeman, 2002).

Cependant, dans le cadre de l'éducation à la biodiversité, les comportements attendus sont souvent de l'ordre de l'action individuelle ou familiale et ne font pas appel à la prise de positions critiques et citoyennes au sein de la société (Chawla et Cushing, 2007). C'est pourquoi nous conduirons des réflexions associées à cette question de la mise en place d'actions possibles dans le cadre d'une étude de cas réalisée en classe de troisième (PARTIE E - La scolarisation de la biodiversité, étude de cas sur les conditions d'apprentissages des élèves, p.159)

D - La scolarisation de la biodiversité, approche curriculaire

Les programmes d'enseignement organisent les savoirs scolaires qui sont enseignés en France à travers des disciplines scolaires institutionnalisées. Ces disciplines ont donné lieu à des études didactiques qui se sont intéressées aux caractéristiques propres du curriculum et à l'organisation des savoirs au sein des disciplines enseignées⁷⁹ (Develay, 1995). En ce sens, Develay propose de parler de la matrice disciplinaire qui organise la totalité des contenus d'une discipline scolaire en un ensemble cohérent (Develay, 1995). La matrice disciplinaire se caractérise par ses propres concepts et théories et permet de comprendre que les disciplines scolaires ne sont pas, en ce sens, un découpage des connaissances scolaires mais de plutôt un nouveau monde théorique (Astolfi, 2008)

Nous allons aborder quelques éléments de cette réflexion curriculaire qui peuvent être mobilisés pour mettre en place une analyse de la place biodiversité dans les programmes scolaires. Nous présenterons ensuite les choix méthodologiques que nous avons effectués pour construire nos analyses des programmes de SVT.

⁷⁹ Des approches de sociologie de l'éducation se sont aussi largement développées en France autour de l'idée que le curriculum est un construit social se prêtant à une étude des modes de sélection des savoirs scolaires ainsi que de ce qui peut fonder leur légitimité scolaire et sociale.

5. RECHERCHES CURRICULAIRES ET CHOIX MÉTHODOLOGIQUES

La notion de « curriculum » est largement utilisée mais recouvre des types d'études variés. Les approches anglophones et francophones proposent des approches différentes. Dans le contexte anglophone, la définition du curriculum est très large. *L'Australian Curriculum Studies Association* décrit ainsi le curriculum :

Curriculum involves what is taught (knowledge, understandings, skills, values); how it is taught (pedagogy, teaching style); and how it is assessed (assessment, testing, reporting). Curriculum shapes and is shaped by social, political, economic and historical forces. It involves the selection, interpretation and implementation of culturally-based knowledge, skills, values and beliefs.⁸⁰ (ACSA, 2017)

Dans le contexte français, le curriculum est plutôt vu comme synonyme des prescriptions officielles des programmes scolaires. En ce sens le curriculum, peut être défini comme l'« ensemble de ce qui est censé être enseigné et de ce qui est censé être appris, selon un ordre de progression déterminé, dans le cadre d' un cycle d'études donné » (Forquin, 2008, p. 73)⁸¹.

⁸⁰ « [Traduction libre] Le curriculum implique ce qui est enseigné (connaissances, compréhensions, compétences, valeurs); comment il est enseigné (pédagogie, style d'enseignement); et comment il est évalué (évaluation, tests, rapports). Le curriculum forme et est façonné par les forces sociales, politiques, économiques et historiques. Il implique la sélection, l'interprétation et la mise en œuvre de connaissances, de compétences, de valeurs et de croyances fondées sur la culture.

⁸¹ Une autre définition courante est celle d'un ensemble d'actions planifiées pour susciter l'instruction comportant les objectifs, les contenus, les méthodes, les matériels (les évaluations), les dispositions relatives à la formation des enseignants (Landsheere, 1991).

5.1. Recherches curriculaires

Ces études didactiques du curriculum ont été largement influencées par le concept de transposition didactique (Chevallard, 1985)⁸². La transposition didactique fait référence à la nécessaire transformation du savoir savant en un savoir enseigné. Elle se décompose en une transposition externe des savoirs en programmes scolaires et en une transposition interne des programmes scolaires aux contenus effectifs de l'enseignement (Bronckart et Plazaola Giger, 1998). Cette distinction a donné lieu à des interrogations sur les causes de l'écart entre le curriculum réel (l'ensemble des expériences vécues par les apprenants dans le cadre de leur formation) et le curriculum prescrit par le programme officiel (Paquay, 2007).

Ceci a conduit différents auteurs à clarifier plusieurs niveaux de curriculum (voir annexe 2). Cette approche curriculaire a été reprise dans le cadre des questions environnementales et de développement durable. Nous allons voir dans la suite quelles particularités les études curriculaires du développement durable ont mis en exergue.

5.1.1. Matrice disciplinaire et matrice curriculaire

La référence exclusive aux savoirs a été critiquée par Martinand qui propose de parler des pratiques notamment dans le cadre de l'enseignement de la technologie (Martinand, 1987).

⁸² Le concept de transposition didactique est beaucoup plus large que les études curriculaires (Voir Bronckart et Plazaola Giger (1998) pour une analyse plus complète de la transposition didactique).

Ainsi, en complément de la référence aux savoirs académiques, des pratiques sociales peuvent conduire à la mise en place de disciplines scolaires. La matrice disciplinaire doit donc être élargie pour constituer une matrice curriculaire qui n'est pas une structure correspondant à une « essence » de discipline, mais une forme beaucoup plus complexe, variable selon les niveaux (Martinand, 2000). L'analyse de la matrice curriculaire vise à mettre en évidence les principes fondateurs mais aussi les choix programmatiques et constructifs permettant de comprendre les caractéristiques propres aux disciplines scolaires (Lebeaume, 2000).

En terme d'éducation au développement durable (EDD), l'absence d'une discipline spécifique pose fortement cette question de la matrice curriculaire. Ceci a conduit Lange et Victor (2006) à proposer d'identifier des « balises curriculaires » qui seraient des repères pour construire une matrice curriculaire intégrant la complexité de la situation ce qui nécessiterait de « clarifier l'épistémologie des savoirs engagés, de rendre les « balises curriculaires » identifiées opérationnelles et de déterminer les apports respectifs de chacune des disciplines scolaires concernées mais aussi leurs limites et leurs articulations ». (Lange et Victor, 2006, p. 98). Cependant, en 2010, Lange et Martinand affirment que :

[La didactique [de l'EDD] se caractérise par l'importance donnée à l'action, la mobilisation de savoirs proactifs, hybrides, en référence explicite à des valeurs et soumise à la contrainte permanente d'un projet politique mouvant, en continuel rectification [...] [sa] déclinaison curriculaire et la caractérisation fine de la « matrice curriculaire » de l'EDD reste un projet de recherche à finaliser.

(Lange et Martinand, 2010, p. 131-132).

Ce travail a en partie été mené depuis 2010 notamment dans le cadre du projet de recherche ANR ED2AO qui a étudié les curriculums éducatifs formels et informels de l'EDD. Plus récemment, Barthes (2017) considère que les travaux en EDD qui se posent la question de sa construction curriculaire s'intéressent à « ses difficultés et ses potentialités, en explorant les différentes postures possibles [...] [et il se] développe également des tentatives d'intégration de modalités d'enseignement alternatives, avec souvent l'idée d'une construction curriculaire différente. »

5.1.2. Curriculum caché

A ces différents niveaux curriculaires s'ajoute le curriculum caché ou implicite. « Celui-ci est « caché » soit parce qu'il est de l'ordre de l'implicite non écrit, soit parce qu'il fait l'objet d'un consensus ou au contraire pour masquer l'absence de consensus. » (Thorel, 2009, p. 96). Ce curriculum « fait partie des concepts qui prétendent dévoiler l'envers du décor : l'école enseigne autre chose ou davantage que ce qu'elle annonce. On se trouve dès lors sur un terrain brûlant : que cache le caché ? » (Perrenoud, 1993, p. 61). Cette question est d'autant plus brûlante que le caractère caché recouvre ce qui est volontairement caché mais aussi ce qui échappe à la volonté consciente des enseignants⁸³.

Cette notion de curriculum caché « apparaît particulièrement important en EDD, du fait même de ses orientations : l'éducation au développement durable revendique fortement son attachement à des « valeurs » (citoyenneté, responsabilité, solidarité...) et sa volonté de faire évoluer les comportements « dans le bon sens » - c'est ce que signifie concrètement l'expression très souvent utilisée de « bonnes pratiques ». » (Barthes et Alpe, 2013, p. 102). L'EDD véhicule aussi une vision du monde très marquée par les approches néolibérales qui peuvent faire du curriculum caché un curriculum « sournois » (Alpe, 2011). Il semble donc essentiel de clarifier ce que recouvre le curriculum caché (Barthes et Alpe, 2013). Ce curriculum caché peut aussi être vu par rapport aux éléments non traités dans le curriculum qui correspondent aussi à un choix réalisé. « Ce curriculum « oublié » correspondrait à la partie du curriculum qui, tout

⁸³ Ce dernier point a été largement étudié à travers un regard plus sociologique par exemple vis-à-vis des stéréotypes de genre que véhicule le système scolaire. C'est ce point de vue qui est mis en avant pour expliquer la faible représentation des filles dans certaines filières scientifiques qui serait liée à l'existence d'un curriculum caché incluant notamment la faible représentation des femmes dans les manuels scolaires et les multiples interactions différenciées en cours ou lors des conseils de classe (Mujawamariya et Guilbert, 2002).

en étant prévue par les finalités, est absente des contenus curriculaires. » (Soetewey, Duroisin et Demeuse, 2011, p. 131).

À l'issue de ce rapide panorama de l'intérêt et de la richesse potentiel des études curriculaires, nous allons présenter la méthodologie que nous avons mise en œuvre.

5.2. Méthodologie de l'analyse curriculaire

À ce stade de notre travail, il pourrait sembler inutile d'utiliser une méthodologie spécifique puisque nous avons développé une analyse épistémologique et didactique qui devrait nous permettre de comprendre directement les documents que nous souhaitons analyser. Cependant il faut prendre garde à cette fausse impression car l'interprétation directe des données textuelles se fait au risque d'une subjectivité non perçue.

La recherche qualitative en éducation revendique souvent l'intégration de la dimension subjective car elle « cherche à donner un sens aux observations que nous faisons du monde empirique avec lequel nous composons selon nos connaissances, nos croyances et nos valeurs »⁸⁴ (Tribble et Saintonge, 1999, p. 118). Il faut cependant distinguer cette subjectivité revendiquée, que nous assumons notamment à travers la construction d'un cadre épistémologique (forcément subjectif) qui guide notre travail, du risque de la subjectivité liée à une méthodologie inadaptée. Pour limiter ce second risque, nous allons présenter la méthodologie que nous avons mise en place. Cette méthodologie se situe dans le cadre de l'analyse de contenu qui est largement utilisée en sciences humaines. Nous allons présenter

⁸⁴ Pour une présentation plus détaillée des liens entre les approches qualitatives et la subjectivité, voir (Nguyen-Duy et Luckerhoff, 2007; Van der Maren, 2007)

cette analyse de contenu qui vise à une lecture seconde pour détruire « l'illusion de la transparence » en cherchant ainsi à mettre en place des « processus opératoires qui la font s'évader du domaine de l'arbitraire et de l'imaginatif. » (Feller, 1977, p.124).

5.2.1. Les méthodologies de l'analyse de contenu

L'analyse de contenu peut être définie comme un « ensemble de techniques d'analyse des communications. Il ne s'agit pas d'un instrument mais d'un éventail d'outils [...] » (Bardin, 2007, p.35). L'analyse de contenu est un outil d'aide à l'interprétation des données. Il faut prendre garde à ne pas surévaluer sa capacité d'objectivation. Comme l'écrit Bardin « [il faut prendre garde à ne pas] appliquer la technique pour se donner bonne conscience, succomber à la magie des instruments méthodologiques en oubliant le pourquoi de leur usage. En effet, de la nécessité pertinente de l'outil à la justification de prestige de l'instrument-gadget il n'y a qu'un pas... Ainsi cette fausse sécurité des chiffres que stigmatise P. Bourdieu à propos des statistiques. » (Bardin, 2007, p.35). Il faut bien voir que Bourdieu ne rejette pas du tout l'utilisation des statistiques mais invite à mieux en comprendre les intérêts et les limites « [Bourdieu] englobait, dans sa revendication de scientificité de la sociologie, une double exigence : d'une part, selon des canons alors classiques, une sociologie dans laquelle le recours à l'argument statistique occupe une place importante et, d'autre part, une autre exigence, dite de « réflexivité » [...]. » (Desrosières, 2008, p.291)

Il nous semble que cette position est toujours d'actualité dans le domaine de l'analyse de contenu. En effet, si comme nous l'avons dit dans la partie précédente, l'analyse de contenu doit se détacher le plus possible de l'arbitraire, elle doit aussi ne pas prendre les outils méthodologiques et en particulier ceux basés sur les statistiques pour des outils produisant des faits objectifs indépendant de l'interprétation et des choix du chercheur.

De plus, on regroupe derrière l'appellation « analyse de contenu », de nombreuses méthodes correspondant à des cadres conceptuels différents et aboutissant à des résultats différents. Jenny (1997) regroupe ainsi divers logiciels d'analyse en fonction des courants théoriques

auxquels ils se rattachent et des «enjeux épistémologiques et théoriques sous-jacents à l'élaboration du logiciel d'analyse textuelle » (Jenny, 1997, p.80). Cette classification reprise par Derobertmasure (2012) est partiellement présentée dans le Tableau 6. Elle met en avant le niveau d'automatisation de la procédure. Cependant, il faut bien réaliser que ce degré d'automatisation correspond à des présupposés épistémologiques différents.

Tableau 6: Principales approches d'analyses de contenu. Pour chaque approche, le principe de base est résumé et quelques exemples des principaux logiciels sont présentés.

Type d'approche (Jenny, 1997)	Type d'analyse réalisée (Roy et Garon, 2013)	Principe (d'après Derobertmasure, 2012; Jenny, 1997).	Exemples de logiciels d'analyse utilisables
L'analyse thématique/socio sémantique	Manuelle	Analyse qualitative qui consiste à décontextualiser un corpus puis à le recontextualiser selon des catégories déterminées par le chercheur. La recontextualisation permet de déterminer le sens. L'analyse peut être réalisée manuellement ou à l'aide de logiciels.	Nvivo®...
Théorie de l'analyse propositionnelle et prédictive du discours	Semi-Automatique	Analyse qui cherche à représenter des configurations cognitives liées à un ou à plusieurs thèmes, considérées comme cachées sous la surface textuelle.	Sato, Tropes®...
Lexicométrie et/ou analyse automatique des réseaux de mots associés	Automatique	Analyse qui va dans une première étape dresser et comparer des profils lexicaux, analyser la proximité et les relations entre les éléments les plus souvent associés dans une même phrase ou un texte... Le but de cette première étape n'est pas de chercher le sens d'un texte mais de déterminer la manière dont sont organisés ces différents éléments. Dans une seconde étape, le chercheur va utiliser ces données sur l'organisation du texte pour proposer une analyse basée sur son expertise.	Alceste®, IRaMuTeQ...

Ces questionnements sur les méthodes d'analyse à mettre en œuvre sont encore très vifs comme en témoignent par exemple les débats sur l'utilisation des approches quantitatives au sein des « humanités numériques » (Carbou, 2017). En effet, dans la recherche en éducation coexistent plusieurs traditions et typologies de recherche, ce qui amène à se questionner sur leur validité (Berger, Crescentini, Galeandro et Mainardi Crohas, 2010). De plus, cette diversité des méthodologies d'analyse de contenu correspond à différentes manières de considérer les données mais il n'existe pas de raisons *a priori* de privilégier une méthodologie particulière.

Face à cette complexité, les méthodologies mixtes entendent développer un regard pluriel qui limite l'arbitraire d'un choix méthodologique. Nous avons ainsi choisi de développer une méthodologie mixte basée sur une triangulation de méthodes qualitatives thématiques et de méthodes lexicométriques automatisées. Cette triangulation méthodologique a pour objectif de confirmer les résultats et doit permettre de garder un regard plus distancié sur les résultats obtenus (Miles et Huberman, 2003). Les deux analyses choisies sont :

- L'analyse thématique, qui se caractérise par une importante intervention du chercheur dans la création des catégories de codage, dans la délimitation de celles-ci et lors de l'opération de codage (Derobertmeasure, 2012). C'est une approche qualitative qui peut être réalisée manuellement ou avec l'aide de logiciels d'analyse qualitative qui simplifient les opérations de catégorisation. Dans notre travail, nous avons utilisé notre analyse épistémologique pour déterminer une grille d'analyse du corpus.
- L'analyse lexicométrique automatique qui est, à l'inverse, basée sur la mise en place automatisée d'une analyse du corpus à partir de laquelle le chercheur pourra construire son interprétation (Derobertmeasure, 2012). L'analyse interprétative du chercheur n'est donc pas menée directement sur les données mais se fonde sur les calculs et les graphiques produits par le logiciel.

Dans les deux prochaines parties, nous allons présenter plus en détail ces deux méthodes utilisées.

5.2.2. Analyse thématique

L'analyse thématique repose sur une lecture attentive et exhaustive du corpus permettant aux chercheurs de « marquer (comme au « Stabilo » en mode manuel) et de coder les éléments textuels [...] auxquels ils attribuent telle et/ou telle signification par rapport à la problématique de leur recherche » (Jenny 1997, p. 91). La démarche générale utilisée est présentée dans la Figure 10.

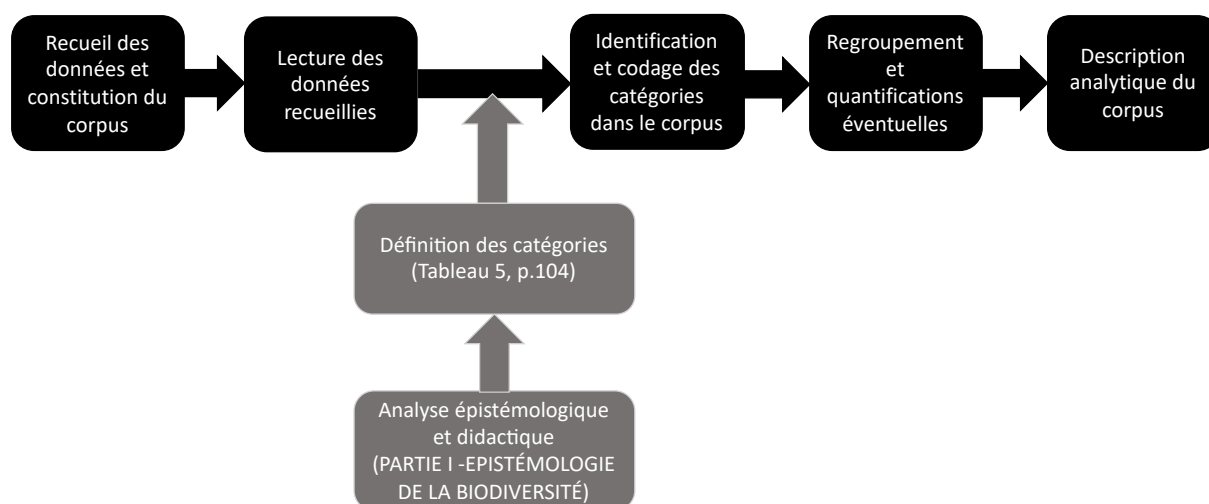


Figure 10: Démarche qualitative d'analyse de contenu réalisée dans le cadre de notre travail curriculaire.

Il existe de nombreuses techniques d'encodage⁸⁵ (Richards, 1999) mais toutes ont en commun de comporter une part d'interprétation liée au travail du chercheur. Il est donc nécessaire de bien clarifier les choix réalisés pour lever d'éventuelles ambiguïtés liées à ce processus d'encodage (Allard-Poesi, 2003). Dans notre cas, notre analyse repose sur une étude épistémologique du concept de biodiversité. Suite à cette analyse épistémologique, nous avons construit une grille d'analyse (Tableau 5, p.104) que nous avons utilisée pour identifier et coder les différents éléments de notre corpus.

Il est possible de réaliser cette analyse thématique, « à la main », mais différents logiciels proposent de simplifier cette tâche. Nous avons retenu le logiciel Nvivo® qui est l'un des plus utilisés et qui présente l'intérêt de faciliter les opérations de codage⁸⁶. Le codage consiste sous Nvivo® à sélectionner des segments de textes, d'images ou de vidéos pour les regrouper au sein d'un nœud qui correspond à une catégorie d'analyse (Figure 11).

A l'issue de l'encodage, il est possible de réaliser une quantification des différents éléments encodés. Nvivo® propose principalement de quantifier le nombre d'éléments encodés en fonction de différents attributs (niveaux de classe, type de ressource...) afin d'approfondir l'analyse. Cette phase de quantification ne fait pas de l'approche d'analyse de thématique une

⁸⁵ Le codage repose sur l'analyse du chercheur qui peut se baser sur une grille de codage construite antérieurement en fonction des éléments connus sur le sujet dans la littérature ou construits pendant l'analyse des données (Dean et Sharp, 2006). Certaines approches recommandent à l'inverse d'analyser le corpus sans grille de codage préétablie pour essayer de faire émerger des données les éléments explicatifs.

⁸⁶ Les logiciels d'analyses de contenu de ce type sont appelés « CAQDAS » (Computer-Assisted Qualitative Data Analysis Software). Nvivo® est un logiciel qui n'impose que peu de choses à son utilisateur et peut être considéré comme un logiciel « d'annotations « manuelles » d'unités textuelles ».

approche quantitative. En effet, ces données sont obtenues après le codage qui relève clairement d'une analyse qualitative de contenu caractérisée par une l'intervention du chercheur dans la création des catégories de codage, dans la délimitation de celles-ci et lors de l'opération de codage. En ce sens, nous n'utilisons pas la quantification pour remplacer l'analyse qualitative mais pour l'enrichir.

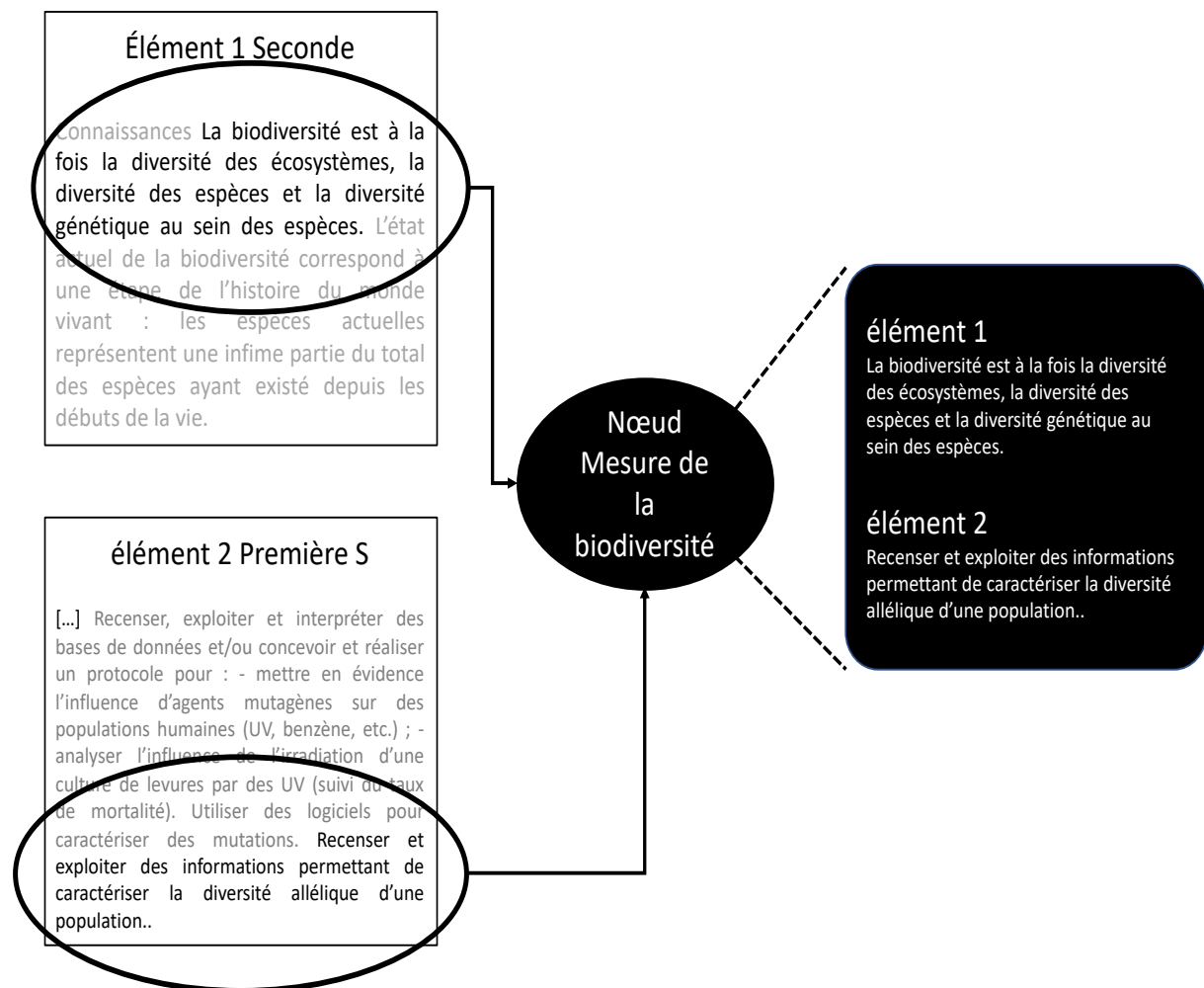


Figure 11 : Principe d'encodage réalisé avec Nvivo® par création de noeuds réalisés à partir de différents éléments importés dans le logiciel

Cette quantification repose sur un comptage du nombre d'occurrences issues des différents éléments du corpus ce qui nécessite de bien définir l'unité de codage et qu'elle reste cohérente tout au long des analyses. Il n'existe pas d'unité d'encodage plus justifiable qu'une autre *a priori*. Pour les textes, l'unité d'encodage choisie a été celle de la phrase. Ce choix repose sur un critère observable.

De manière à réaliser une triangulation de nos résultats, nous avons également réalisé une analyse lexicométrique de notre corpus que nous allons maintenant présenter.

5.2.3. Analyse lexicométrique avec le logiciel IRaMuTeQ

Contrairement à l'analyse thématique présentée précédemment, l'analyse lexicométrique repose sur un traitement mathématique du corpus. La réflexion épistémologique menée sur la thématique de la biodiversité est donc mise à distance durant ce traitement. Ceci ne signifie pas que ce type d'analyse est dépourvu d'arrière-plan épistémologique mais que notre réflexion sur la biodiversité est mise à distance. Les analyses lexicométriques, comme toute analyse réalisée sur un corpus, sont en soi porteuses de partis pris épistémologiques importants. De plus, la réflexion épistémologique sur la biodiversité n'en demeure pas moins fondamentale dans cette approche lexicométrique car, à l'issue de cette analyse mathématique, elle va permettre de réaliser l'interprétation et donc de construire du sens à partir de ce traitement automatisé et des repères épistémologiques tenus pour pertinents.

Il convient donc de prendre les analyses lexicométriques pour ce qu'elles sont, une méthodologie d'analyse possible parmi d'autres, ni meilleure ou plus objective qu'une autre mais fournissant une alternative intéressante dans le cadre d'une triangulation méthodologique avec les approches d'analyse thématique du contenu. Il convient aussi de détailler les choix méthodologiques réalisés pour cette analyse. En effet, les différents choix réalisés par le chercheur (type d'analyse lexicométrique, réglages des procédures d'arrêt...) sont de nature à modifier les résultats du traitement mathématique. Nous allons donc présenter plus en détails les différentes étapes du traitement réalisé.

TRAITEMENT DU CORPUS

S'il existe des points communs entre les différents logiciels, le type d'analyse réalisée dépend du logiciel choisi. Nous avons choisi le logiciel IRaMuTeQ qui est une Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires (Ratinaud, 2009). C'est un logiciel libre (licence GNU-GPL) de lexicométrie qui reprend les traitements réalisés par le logiciel payant Alceste en y ajoutant d'autres types d'analyses possibles. Nous allons présenter les différentes étapes du traitement réalisé par le logiciel.

Les différentes étapes de traitement du corpus sont disponibles dans la documentation en ligne accessible sur le site d'IRaMuTeQ (Ratinaud, 2009). La première étape de traitement du corpus correspond au nettoyage qui permet de formater le corpus pour faciliter son analyse :

- Convertir toutes les majuscules en minuscules (sinon « Chat » et « chat » seront considérées comme deux formes distinctes).
- Retirer les caractères inadaptés. Seul les caractères alphanumériques et accentués sont conservés.
- Remplacer les apostrophes et les tirets par des espaces. Exemple : « l'école » sera remplacée par « l école » (suppression de l'apostrophe) ce qui permet d'analyser le mot.

La seconde étape consiste à découper le texte en segments. Les segments de texte⁸⁷ sont construits à partir d'un critère de taille et de ponctuation. IRaMuTeQ cherche le meilleur ratio taille/ponctuation (par ordre de priorité, les ".", les "?" et les "!" en premier, puis en second les ";" et les ":", en troisième la virgule et en dernier l'espace). L'objectif est d'avoir des segments de tailles homogènes en respectant le plus possible la structure du langage.

⁸⁷ Dans le vocabulaire d'Alceste, les Segments de texte sont appelés UCE : Unité de contexte élémentaire.

La troisième étape est la lemmatisation (obtention des racines des mots). Les verbes sont ramenés à l'infinitif, les noms au singulier et les adjectifs au masculin singulier. IRaMuTeQ réalise la lemmatisation à partir de dictionnaires de la langue française et d'expression qui repèrent les expressions courantes comme « aujourd'hui » ou « grand-père ».

A l'issue de ces trois étapes, le texte initial a été converti en un ensemble de formes qui peut être soumis à différents traitements statistiques. La plupart des analyses vont différencier des formes actives et des mots outils. Seules les formes « actives » seront utilisées pour les classifications par exemple⁸⁸. La figure de la page suivante (Figure 12) présente un résumé de ces différentes étapes de préparation du corpus.

⁸⁸ La détermination des formes actives repose sur le statut grammatical déterminé selon la liste ci-dessous.

adj_dem: Adjectif démonstratif	art_def: Article défini	pre: Préposition
adj_ind: Adjectif indéfini	art_ind: Article indéfini	pro_dem: Pronom démonstratif
adj_int: Adjectif interrogatif	aux: Auxiliaire	pro_ind: Pronom indéfini
adj_num: Adjectif numérique	con: Conjonction	pro_per: Pronom personnel
adj_pos: Adjectif possessif	nom_sup: Nom supplémentaire	pro_pos: Pronom possessif
adj_sup: Adjectif supplémentaire	nom: Nom commun	pro_rel: Pronom relatif
adj: Adjectif	nr : Formes non reconnues	ver_sup: Verbe supplémentaire
adv_sup: Adverbe supplémentaire	num : Chiffre	ver: Verbe
adv: Adverbe	ono: Onomatopée	

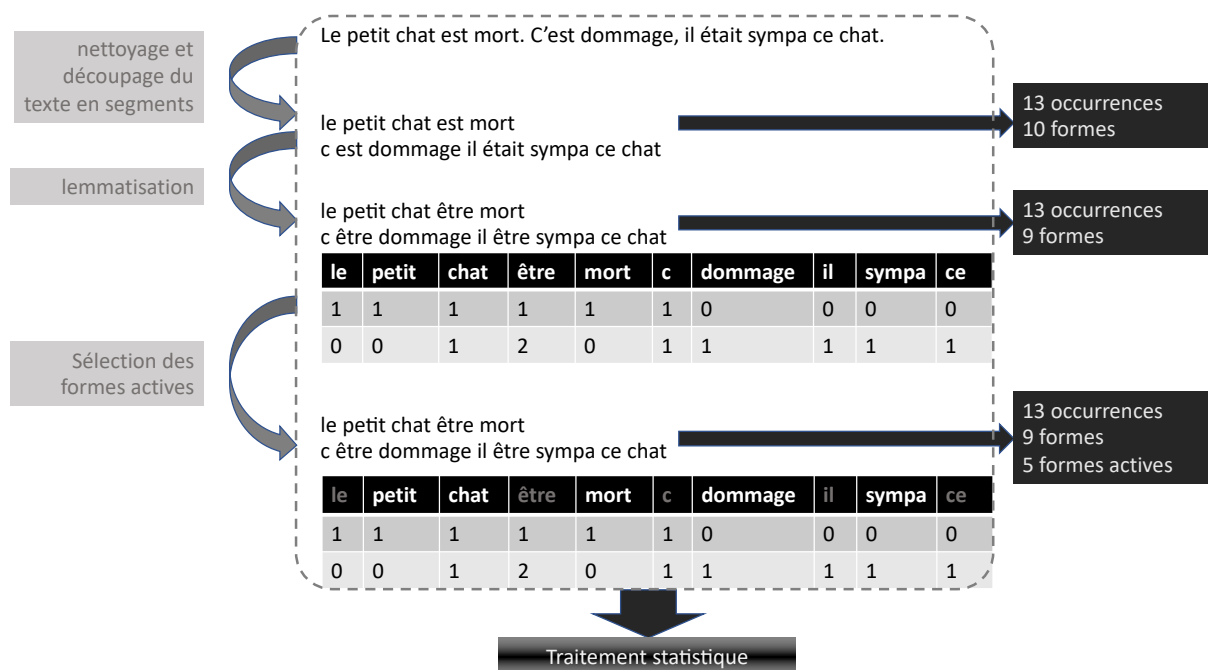


Figure 12 : Exemple de préparation d'un texte pour une analyse dans IRaMuTeQ (adapté d'après Ratinaud, 2009).

Le texte est transformé en une matrice des formes actives avec en ligne les formes actives utilisées pour l'analyse et en colonne les segments de texte. C'est cette matrice qui va servir à mettre en place des analyses statistiques du corpus. Différentes analyses statistiques peuvent ainsi être menées. Nous allons présenter les analyses réalisées dans l'étude lexicométrique de notre corpus à savoir l'analyse de Reinert et l'analyse graphique des cooccurrences.

ANALYSE STATISTIQUE SELON LA MÉTHODE DE REINERT

La méthode de Reinert permet à partir de la matrice des formes actives de déterminer des classes qui regroupent les segments de textes selon leur proximité (Figure 13). Cette méthode a été appliquée sur des regroupements de segments de texte (RST)⁸⁹. Les RST sont constitués par concaténation de plusieurs segments de textes issus d'une même source pour que chaque RST comporte un nombre de formes supérieur à un seuil fixé pour l'analyse. Ceci peut par exemple donner RST1 = Segment de texte 1 ; RST2 = Segment de texte 2 + Segment de texte 3 + Segment de texte 4 ; RST3 = Segment de texte 5 + Segment de texte 6.

Suite à cela, la méthode de Reinert va être appliquée. C'est une méthode de classification hiérarchique descendante qui a été popularisée par son implémentation dans le logiciel Alceste (Reinert, 1983, 1990). L'ensemble des formes actives sont initialement regroupées en une seule classe, puis une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est réalisée de manière à réaliser une première partition en deux classes en cherchant à ce que ces deux classes soient les plus différents possibles. Le processus est répété de manière à minimiser

⁸⁹ IRaMuTeQ, pour respecter les règles de propriété intellectuelle, utilise un vocabulaire différent de celui proposé dans la méthode de Reinert. Le tableau ci-dessous donne les équivalences entre les vocabulaires utilisés dans les deux logiciels.

Alceste	Méthode Reinert IRaMuTeQ
UCI : Unité de contexte initiale	TEXTE
UCE : Unité de contexte élémentaire	ST : Segment de texte
UC : Unité de contexte	RST : regroupement de segments de texte

l'inertie intra-classe et maximiser l'inertie ou distance inter-classe (Tichit, Mathonnat et Landivar, 2014) et s'arrête quand, soit l'inertie inter-classe n'est pas augmentée par une nouvelle partition des données, soit le nombre de classes atteint un maximum fixé par le chercheur. Le nombre maximum de classes créées peut être modifié selon le résultat obtenu. En effet, réaliser une classification est un processus de recherche itératif qui ne fournit pas toujours au premier essai des résultats pertinents. Modifier le nombre maximum de classes créées ou le nombre minimum de segments de texte par classe correspond à cette démarche de recherche par itération. Nous avons donc réalisé de manière itérative des analyses de Reinert en faisant varier ces deux paramètres de manière à obtenir uniquement trois classes qui nous semblent une situation facilement interprétable.

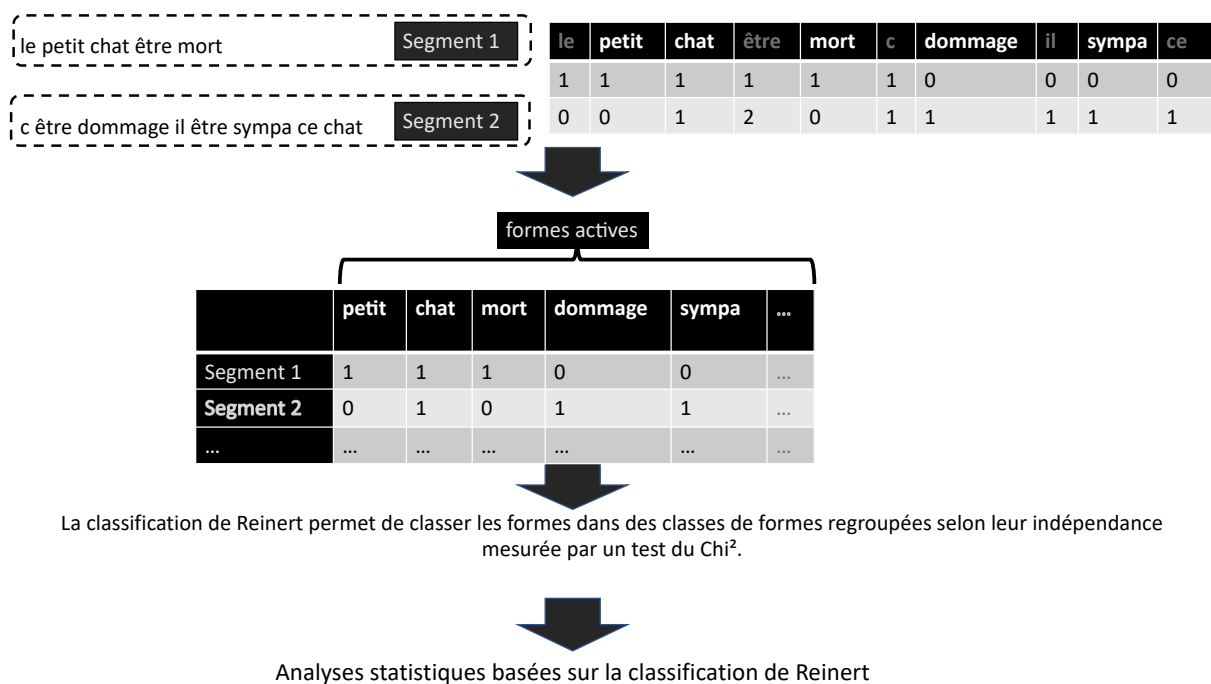


Figure 13 : Exemple d'analyse statistique lexicométrique d'un texte préparé dans IRaMuTeQ

Les classes obtenues sont construites indépendamment du sens qu'aurait pu identifier le chercheur. Ce dernier doit donc interpréter les résultats de l'analyse. Pour mener à bien cette interprétation, nous nous sommes basés sur le lien que chaque forme active a avec les différentes classes. Celui-ci est indiqué par la valeur du χ^2 et permet d'indiquer, sous le dendrogramme, des mots dont la taille est proportionnelle à la valeur du χ^2 au sein de la classe. En plus de cela, il est possible de réaliser une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) mettant en relation les formes actives avec les classes obtenues. L'utilisation de cette AFC post traitement (post classification descendante hiérarchique) nous a permis de relever les proximités et les oppositions entre les classes obtenues dans le plan factoriel.

ANALYSE DE SIMILITUDES

Après avoir effectué une classification hiérarchique descendante selon la méthode de Reinert, nous avons exécuté sur chaque classe une analyse de similitude sur les formes actives. C'est une analyse qui repose sur la théorie des graphes (Degenne et Vergès, 1973). L'objectif est de représenter la structure d'un corpus par la schématisation des liens entre les mots (les formes sous IRaMuTeQ) dans les segments de textes (Marchand et Ratinaud, 2012). Le chercheur choisit dans la liste des formes celles qui seront sélectionnées (en fonction de leur fréquence). Ce choix dépendra du corpus et sera fixé de manière à obtenir un graphe lisible⁹⁰.

Cette analyse va reposer sur le calcul d'un indice de cooccurrence (combien de fois les éléments vont apparaître en même temps). La notion de cooccurrence est basée sur les situations où la présence d'une forme dans un texte donne une indication sur la présence d'une autre forme. Le sens est différent, pourtant leur cooccurrence permet de penser qu'ils

⁹⁰ Puisque toutes les formes apparaîtront sur le graphique produit il est important de ne pas prendre trop de formes pour éviter d'obtenir un graphique illisible.

peuvent correspondre à un contexte plus général. Par exemple « gène » et « allèle » sont deux formes qui sont souvent cooccurentes c'est-à-dire qu'elles sont utilisées dans un contexte commun, celui de la génétique.

L'indice de cooccurrence permet de produire un graphique où la taille des formes est proportionnelle à leur fréquence dans le corpus. Ces mots sont reliés entre eux par des arêtes dont la taille est proportionnelle à l'indice de cooccurrence. Pour réaliser la figure, il faut organiser spatialement les mots et les arêtes. Nous allons utiliser l'algorithme de Fruchterman Reingold qui peut être décrit à l'aide d'une analogie issue de la physique (Bahoken, Beauguitte et Lhomme, 2013). L'algorithme cherche à minimiser l'énergie d'un système composé de particules de mêmes charges électriques (les nœuds qui sont ici des formes) reliées entre elles par des ressorts qui tendent à les rapprocher entre elles (les arcs qui sont ici proportionnels à l'indice de cooccurrence). L'algorithme va procéder en déplaçant les nœuds pour minimiser les forces qui s'appliquent dans le système. Le résultat est ainsi un graphique qui permet au chercheur de construire des « parcours interprétatifs, de mises en réseaux ou de mise en résonances, de textualité » ⁹¹ (Mayaffre, 2008, p. 814).

⁹¹ « [La cooccurrence] s'inscrit en tout cas [...] dans une logique de contextualisation qui est la condition de l'élaboration du sens et de l'interprétation. [...] En d'autres termes encore, en privilégiant les cooccurrences sur les occurrences, on réintroduit les contextes » (Mayaffre, 2008, p. 814)

6. ANALYSE DES PROGRAMMES ACTUELS DE SCIENCES

Comme indiqué, nous nous intéressons aux programmes officiels d'enseignement des sciences et technologie et des SVT du cycle 3 à la classe de terminale. Au sein de ce corpus de textes officiels, nous avons effectué une recherche du mot biodiversité pour sélectionner des extraits des programmes qui traitent de cette notion. La détermination de la longueur des passages retenus a été réalisée sur la base de la structuration des programmes. Le Tableau 7 présente ainsi le corpus analysé. Les programmes de Première ES et L n'ont pas été retenus dans l'analyse, car comme précisé dans le Tableau 7, la seule occurrence du mot biodiversité correspond à un rappel des acquis de collège et de Seconde.

A partir du corpus ainsi constitué nous avons donc réalisé une analyse mixte reposant sur deux approches complémentaires : une approche thématique qualitative basée sur l'utilisation d'une grille d'analyse construite *a priori* et une approche lexicométrique automatisé. Nous allons présenter les résultats de ces deux approches dans la suite.

Tableau 7: Présentation du corpus de données utilisé. Pour chaque niveau de classe concerné, l'année de publication du programme est indiquée ainsi que le nombre d'occurrences du mot biodiversité par rapport au nombre total de mots identifiés dans la partie du programme considéré. La référence du bulletin officiel est aussi indiquée.

Niveaux de classes	Année	Renseignements
Cycle 3 (CM1, CM2, Sixième)	2015	Partie Sciences et technologie 2 occurrences du mot biodiversité/4697 mots dans la partie du programme sélectionnée Bulletin officiel spécial n° 11 du 26 novembre 2015
Cycle 4 (Cinquième, Quatrième, Troisième)	2015	Partie SVT 9 occurrences du mot biodiversité/3420 mots dans la partie du programme sélectionnée Bulletin officiel spécial n° 11 du 26 novembre 2015
Seconde Générale	2010	Partie SVT 15 occurrences du mot biodiversité/6922 mots dans la partie du programme sélectionnée Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010
Première S	2010	Partie SVT 2 occurrences du mot biodiversité/7331 mots dans la partie du programme sélectionnée Bulletin officiel spécial n° 9 du 30 septembre 2010
Première ES, Première L	2010	Partie SVT 1 seule occurrence du mot biodiversité/4016 mots dans la partie du programme sélectionnée (mais cette occurrence est dans la partie « acquis de collège et de seconde ») Bulletin officiel spécial n° 9 du 30 septembre 2010
Terminale S	2011	Partie SVT (une section est nommée « De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité ») 6 occurrences du mot biodiversité/11 791 mots dans la partie du programme sélectionnée Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011

6.1. Analyse thématique qualitative

L'analyse qualitative a été réalisée en se basant sur les différentes catégories déterminées lors de l'analyse épistémologique. Nous avons donc codé l'ensemble du corpus selon les catégories épistémologiques déterminées *a priori* avec le logiciel Nvivo® (pour une présentation plus détaillée des différentes catégories utilisées pour le codage, voir le Tableau 5, p.104). L'annexe 3 présente le résultat brut de ce codage.

Après codage du corpus, il est nécessaire de chercher à construire le sens possible. Pour structurer cette démarche, il est possible de se baser sur une première étude de la structure obtenue (Figure 14). Il ressort que la dimension scientifique est largement majoritaire (60% des éléments codés), par rapport aux éléments rattachés à la dimension sociale (34%) ou aux biotechnologies (6%). Deux catégories sont beaucoup plus représentées que les autres : la théorie de l'évolution et la protection ou gestion de la biodiversité. (Figure 14A).

Les données peuvent aussi s'analyser en fonction des différents niveaux du curriculum (Figure 14B). On constate que le cycle 3 semble très différent des autres niveaux car il n'est référé qu'à deux catégories : l'écologie et la protection ou gestion de la biodiversité. Si on met de côté le cycle 3, les autres niveaux curriculaires se réfèrent à plus de 4 catégories. Les éléments liés à la mesure de la biodiversité, à la théorie de l'évolution, aux éléments éthiques et à la protection ou gestion de la biodiversité sont toujours présents. A l'inverse, les notions liées à la biotechnologie, à la classification du vivant à la définition de l'espèce et à l'écologie ne sont présentes que dans un ou deux niveaux du curriculum. Ces catégories semblent donc constituer des éléments moins fréquents dans le cadre du curriculum de la biodiversité.

Sur la base de ces premiers éléments, nous allons donc structurer notre analyse qualitative autour de trois éléments qui nous semblent pouvoir faciliter la compréhension de la présentation de la biodiversité au sein du curriculum : Le cycle 3, les éléments scientifiques et les éléments sociaux.

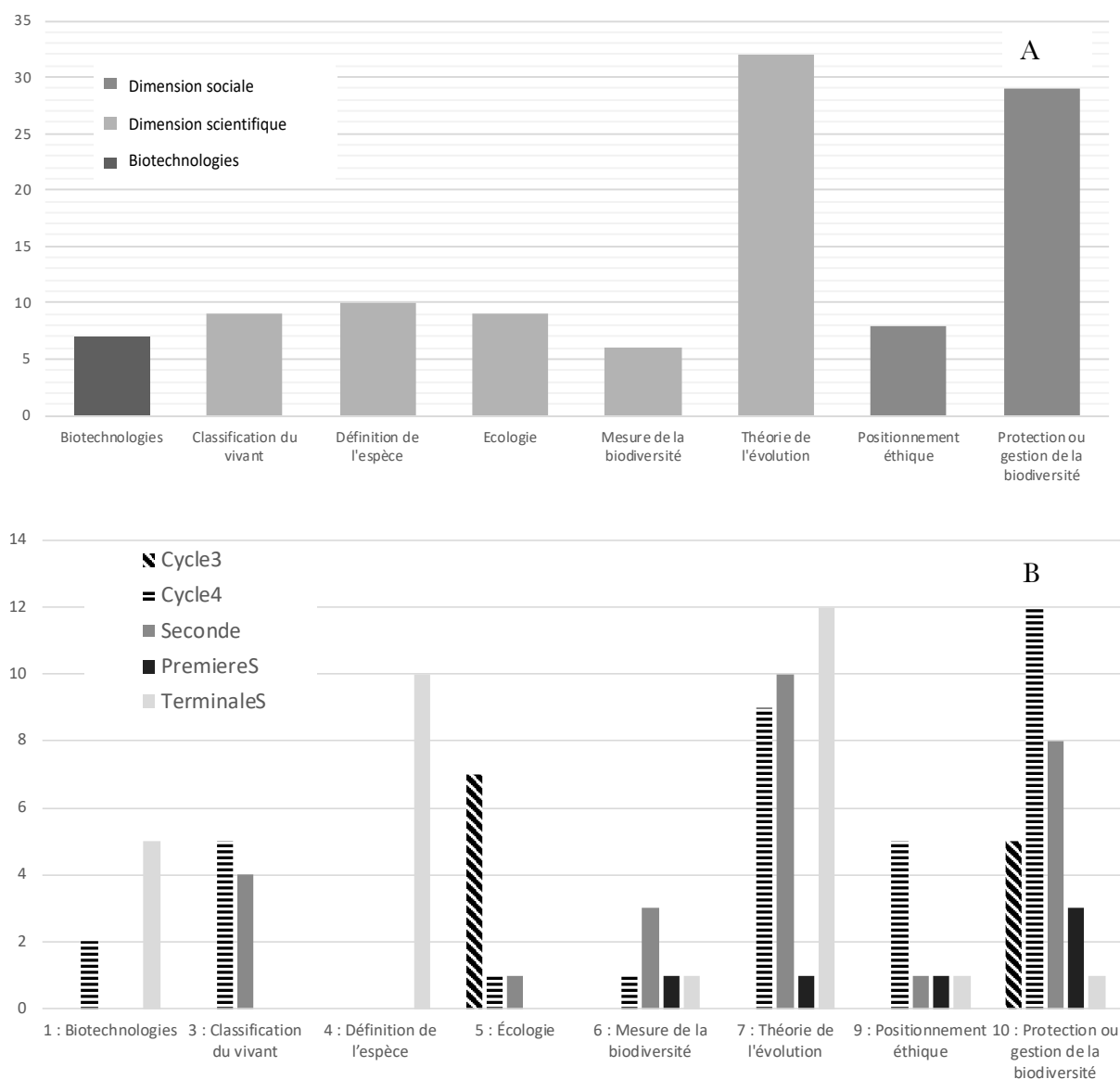


Figure 14 : Nombre de références (phrases sélectionnées) servant à l'analyse qualitative en fonction des différentes catégories construites lors de l'analyse épistémologique de la notion de biodiversité. Pour une présentation plus détaillée des différentes catégories utilisées pour le codage, voir le Tableau 5, p.104. La figure A correspond au nombre d'éléments présents du cycle 3 à la Terminale S relevant des dimensions sociales, scientifiques et biotechnologiques. La figure B représente le nombre d'éléments relevant de chaque niveau d'étude au sein du curriculum.

6.1.1. Biodiversité au cycle 3

Le cycle 3 constitue une nouveauté mise en place dans le cadre de la redéfinition des cycles d'enseignement en 2016, qui intègre les deux dernières années d'enseignement primaire (CM1 et CM2 soit 9-11 ans) et la première année d'enseignement secondaire (sixième soit 11-12 ans). Ce cycle semble singulier par rapport aux autres niveaux scolaires puisqu'il ne présente que des éléments en lien avec l'écologie et la protection ou la gestion de la biodiversité. Nous allons développer les dimensions scientifiques (écologie) et sociales (protection ou gestion de la biodiversité) telle qu'elles sont présentées en cycle 3. Toutes les citations pour cette partie sont tirées du programme de cycle 3 sauf mentions contraires

DIMENSIONS SCIENTIFIQUES AU CYCLE 3

Ce positionnement correspond à des approches classiques d'écologie qui consistent en une vision descriptive des écosystèmes (« Décrire un milieu de vie dans ses diverses composantes ») et des visions fonctionnelles (étudier l'« Interactions des organismes vivants entre eux et avec leur environnement », la « Modification du peuplement en fonction des conditions physicochimiques du milieu et des saisons » et les « conséquences de la modification d'un facteur physique ou biologique sur l'écosystème »). Dans ce cadre, la biodiversité est présentée comme « un réseau dynamique ». Ce réseau est à comprendre au sens des interactions (notamment trophiques) entre les différents êtres vivants d'un milieu donné.

Ce choix d'associer la biodiversité à l'écologie diffère de celui fait dans les programmes précédents de SVT (Programmes de 2008). Dans une étude que nous avons menée en 2013 (Barroca-Paccard, Orange-Ravachol et Gouyon, 2013), nous avons mis en évidence la prédominance de la classification du vivant dans l'approche de la biodiversité.

En cycle 3 (fin de l'école primaire, 2008), il s'agit de « recherche de différences entre espèces vivantes », puis en sixième (donc au début du collège, 2008) « La diversité des espèces est à la base de la biodiversité. [...] Les organismes vivants sont classés en groupes emboîtés définis uniquement à partir des attributs qu'ils possèdent en commun⁹².

Cette notion de classification est toujours présente, notamment dans la partie « Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent » qui propose de « Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes »⁹³. Cependant le lien n'est plus réalisé avec la biodiversité et cette partie du programme est présentée indépendamment de la partie écologie.

Ce développement de la dimension écologique semble correspondre à des recommandations réalisées dans un rapport de l'inspection générale qui spécifiait que « en SVT, un rééquilibrage des contenus enseignés sera nécessaire, amenant par exemple [...] à réintroduire un enseignement d'écologie fondamentale » (Bonhoure, 2008, p. 5). Ce positionnement scientifique de la biodiversité au sein de l'écologie a été associé à la prise en compte des aspects sociaux.

DIMENSIONS SOCIALES AU CYCLE 3

La dimension sociale de la biodiversité est explicitement reliée à une approche d'éducation au développement durable : « Prévoir de travailler à différentes échelles de temps et d'espace,

⁹² Lors de ce travail nous avons aussi indiqué que cette approche basée sur la classification du vivant semblait complexe à mettre en place lorsqu'on souhaite « créer des groupes emboîtés dans la classification » (Sixième, 2008). Le programme contournait cette question fondamentale en indiquant que les attributs utilisés pour la classification « [...] définis par les scientifiques permettent de situer des organismes vivants dans la classification actuelle ».

⁹³ Le programme précise dans les exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève qu'« ils découvrent quelques modes de classification permettant de rendre compte des degrés de parenté entre les espèces et donc de comprendre leur histoire évolutive »

en poursuivant l'éducation au développement durable. ». ⁹⁴ Dans ce cadre, l'Homme a des besoins et va mettre en place une « Exploitation raisonnée » des ressources naturelles. Celles-ci sont listées dans le programme : « eau, pétrole, charbon, minerais, biodiversité, sols, bois, roches à des fins de construction... ».

L'Homme est présenté comme un gestionnaire de la biodiversité. Il doit gérer les « impacts à prévoir » de ses projets d'aménagements, impacts qui sont eux aussi listés « risques, rejets, valorisations, épuisement des stocks ». Ceci conduit à chercher des solutions techniques pour protéger la biodiversité : « impacts technologiques positifs et négatifs sur l'environnement ».

Le programme de cycle 3 relie donc très clairement la biodiversité à une ressource parmi d'autres pour laquelle il faut mettre en place une gestion des stocks (comme pour le pétrole). Les spécificités liées à la dynamique évolutive ne sont pas présentes et la vision de la biodiversité se rapproche de celle de sens commun d'une collection d'organismes à protéger/gérer. La biodiversité est présentée en dehors de toute référence évolutive. Le lien entre la vision dynamique d'une biodiversité en réseau et la gestion n'est pas présenté.

Le programme de cycle 3 élude aussi les questions de société que pose la protection de la nature. Il n'aborde pas les aspects éthiques. Au final ce type d'approche ne conduit pas à construire un regard complexe et critique sur le rapport de l'Homme à la biodiversité. La présentation de la biodiversité exclusivement comme une ressource rejoint le cadre néo-libéral et peut conduire à instrumentaliser l'école et les élèves au détriment de la dimension éducative initiale (Lange, 2008).

⁹⁴ Rappel : l'ensemble des citations pour cette partie est tiré du programme de cycle 3 sauf mentions contraires

Le cycle 3 est différent des autres programmes analysés. Nous avons donc choisi de le traiter séparément. Pour les programmes du cycle 4, de Seconde générale, de Première et de Terminale Scientifique, il est possible de réaliser une analyse d'ensemble. Nous allons donc maintenant présenter une analyse basée sur la grille réalisée au cours du travail épistémologique (Tableau 5, p.104). Nous allons donc analyser les éléments relevant des dimensions scientifiques et des dimensions sociales.

6.1.2. Dimensions scientifiques de la biodiversité dans les programmes du cycle 4 à la terminale.

L'analyse menée se base sur la grille réalisée au cours du travail épistémologique (Tableau 5, p.104). Nous présenterons donc successivement les différents aspects mis en évidence dans notre analyse épistémologique. Nous traiterons des aspects liés à la définition de l'espèce, à l'écologie, à la classification du vivant, à la mesure de la biodiversité et enfin à la théorie de l'évolution (Figure 14, p.134).

DÉFINITION DE L'ESPÈCE

Dans les programmes actuels de cycle 3 et de cycle 4, l'espèce n'est pas définie⁹⁵. Il faut attendre la classe de Terminale S pour trouver une définition de l'espèce. Cette définition est

⁹⁵ La place de la définition de l'espèce dans les programmes diminue. En sixième, la définition de l'espèce en 2004 était : « Une même espèce regroupe, sous le même nom, des êtres vivants qui se ressemblent et peuvent se reproduire entre eux ». Dans le programme de sixième de 2008, l'espèce était définie de manière beaucoup plus évolutive comme « un ensemble d'individus qui évoluent conjointement sur le plan héréditaire » (Barroca-Paccard et al., 2013).

riche et précise « la définition de l'espèce est délicate et peut reposer sur des critères variés qui permettent d'apprécier le caractère plus ou moins distinct de deux populations (critères phénotypiques, interfécondité, etc.). ». Le programme de Terminale S précise : « Une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolés génétiquement des autres populations », « [...]il convient de montrer que l'espèce est une réalité statistique, collective et que c'est dans cette optique que la spéciation peut être envisagée » et « il ne s'agit pas de conduire à une définition incontestable de l'espèce ou de la spéciation [...] ».

Cette définition de l'espèce met en avant sa dynamique et les mécanismes de spéciation dans une approche populationnelle qui semble favorable à la mise en place du concept d'évolution (Ihoste et Gobert, 2009). Elle est cependant bien tardive et n'est pas directement reliée à une définition de la biodiversité.

ÉCOLOGIE

L'écologie est peu présente (en dehors du cycle 3). En cycle 4, le programme évoque la « Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation ; diversité des relations interspécifiques. » et en Seconde l'écosystème est abordé mais « L'écosystème est seulement défini comme l'ensemble constitué par un milieu et les êtres vivants qui l'habitent ».

CLASSIFICATION DU VIVANT

On retrouve en cycle 4 l'idée de « relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution » et en Seconde la précision qu'« au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants ». Cependant, la classification du vivant n'est pas très liée à la présentation de la biodiversité et n'apparaît donc que très ponctuellement dans notre corpus. Cela a pourtant été un élément très important dans la présentation de la biodiversité dans les programmes précédents (Barroca-Paccard et al., 2013). Cependant le lien n'est plus aussi présent et la biodiversité n'est plus présentée en lien avec la classification que de façon ponctuelle. Comme nous l'avons déjà indiqué en 2013, les méthodes proposées pour la classification du vivant sont très simplifiées puisqu'il s'agit de l'application d'une méthode d'emboîtement stéréotypée qui ne nécessite, en soi, que peu d'investissement intellectuel des

élèves et s'apparente à une « recette de cuisine » permettant de construire des groupes emboîtés.

MESURE DE LA BIODIVERSITÉ

Les méthodes de mesure de la biodiversité ne sont pas toujours clairement indiquées et globalement la présentation de la biodiversité n'est pas accompagnée d'une réflexion explicite sur la mesure de la biodiversité. Cependant, suite à notre analyse épistémologique nous avons identifié quelques éléments qui abordent cette mesure de manière indirecte.

Pour la scolarité obligatoire, la seule référence à la mesure de la biodiversité est en cycle 4 où la biodiversité est directement présentée comme la diversité des espèces « la biodiversité (diversité des espèces) » (cycle 4). Cette centration sur la richesse spécifique continue en partie en classe de Seconde où il est proposé d'« Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu » (Seconde générale).

Cependant, la mesure de la biodiversité va se complexifier au lycée puisque la mesure de la diversité spécifique n'est plus la seule possible. En Seconde la biodiversité est présentée ainsi : « La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces ». En Première S, elle l'est ainsi : « La (diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité ». Et enfin en Terminale S : « La diversité du vivant est en partie décrite comme une diversité d'espèces ». La diversité allélique est ainsi intégrée dans la mesure de la biodiversité.

Au final les indices de mesure de la biodiversité ou le lien entre diversité allélique et potentiel évolutif possible ne sont pas abordés. De plus, la présentation des mesures de biodiversité renvoie essentiellement à un dénombrement d'espèces ou d'allèles sans présentation des aspects dynamiques ni des aspects liés à la l'utilisation d'indices de biodiversité (Simpson et/ou Shannon : voir Les indices de diversité spécifique de Simpson et de Shannon, p.37). Il en résulte une vision où la mesure de la biodiversité est traitée de manière naïve comme un dénombrement d'espèces ou de formes alléliques.

THÉORIE DE L'ÉVOLUTION

La théorie de l'évolution est très présente dans l'ensemble des programmes. Nous n'allons développer ici que les aspects de la théorie de l'évolution spécifiquement liés à la biodiversité. En cycle 4, une première présentation de la théorie de l'évolution est réalisée. Dans ce cadre, il est proposé de « Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité. » (Cycle 4). Cette présentation de la théorie évolutive est prolongée en Seconde « Dans le thème « La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant ». Elle s'inscrit dans une logique d'approfondissement des acquis du collège, on étudie « [...] quelques originalités de fonctionnement et d'organisation du vivant et quelques idées sur la biodiversité et son origine évolutive. » (Seconde). Cette vision évolutive permet d'intégrer la dimension temporelle : « L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant : les espèces actuelles représentent une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie. » (Seconde). L'apparition possible d'espèces dans le cadre des processus évolutif de spéciation est indiquée en Seconde « La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces. », et reprise en Première S « Les mutations sont la source aléatoire de la diversité des allèles, fondement de la biodiversité. » puis en Terminale S « Analyser des exemples de spéciation dans des contextes et selon des mécanismes variés à partir de documents fournis ».

L'ensemble du travail contribue à replacer la biodiversité comme « produit et étape de l'évolution » (Terminale S). Par rapport à notre grille d'analyse (Tableau 5, p.104), on peut donc considérer que la théorie de l'évolution est associée à la biodiversité comme un cadre théorique intégrant une réflexion historique et permettant d'établir un paradigme scientifique général (Orange 2008).

6.1.3. Dimensions sociales de la biodiversité dans les programmes du cycle 4 à la terminale.

L'analyse menée se base sur la grille réalisée au cours du travail épistémologique (Tableau 5, p.104). Nous présenterons donc successivement les différents aspects liés aux biotechnologies, à la protection ou gestion de la biodiversité et aux éléments éthiques (Figure 14, p.134).

BIOTECHNOLOGIE

La biotechnologie est présente en cycle 4 « en lien avec la technologie, la chimie, les mathématiques ». Les thématiques énumérées sont nombreuses et pour certaines très contemporaines : « Biotechnologies, biomimétisme et innovations technologiques ; réparation du vivant, l'être humain augmenté ; handicap ; industrie du médicament ; industrie agro-alimentaire ; biotechnologies pour l'environnement (eau, déchets, carburants). ». Cependant, ces thématiques ne sont pas reprises dans la suite du curriculum et la seule autre évocation des biotechnologies est située en Terminale S « L'utilisation des plantes par l'Homme est une très longue histoire, qui va des pratiques empiriques les plus anciennes à la mise en œuvre des technologies les plus modernes. ». C'est en fait la « sélection génétique des plantes » et le « génie génétique » qui « permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées » (Terminale S).

Au final, les thématiques en lien avec le développement des biotechnologies présentes en cycle 4 semblent très ambitieuses mais peu appuyées sur les autres éléments scientifiques des programmes et, sans réel suivi dans le reste du curriculum, elles ne peuvent être abordées dans leur richesse.

PROTECTION OU GESTION DE LA BIODIVERSITÉ

En cycle 4, il s'agit de « comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé ». Cette vision de la biodiversité comme une ressource est complétée d'éléments sur le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes : « une activité

humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales » et « [...] interactions entre les activités humaines et l'environnement, dont l'interaction être humain - biodiversité (de l'échelle d'un écosystème local et de sa dynamique jusqu'à celle de la planète) ».

Pour ce qui concerne la scolarité obligatoire, il est intéressant de remarquer que le positionnement est très prudent, ne présentant jamais l'activité humaine comme purement destructrice de la biodiversité. Ainsi, si « cette thématique est l'occasion de faire prendre conscience à l'élève des conséquences de certains comportements et modes de vie » (Cycle 4), le programme précise que « quelques exemples judicieusement choisis permettent aux élèves d'identifier des solutions de préservation ou de restauration de l'environnement compatibles avec des modes de vie qui cherchent à mieux respecter les équilibres naturels ».

En Seconde s'il est proposé de « mettre en évidence l'influence de l'Homme sur la biodiversité. », le rôle de l'Homme ne semble pas central puisque « La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine. ». On trouve ici une volonté d'équilibrer les aspects positifs et négatifs de l'action de l'Homme. Le curriculum français rejoint ainsi largement la logique de compromis de certaines approches de développement durable et permet d'envisager l'Homme comme gestionnaire, plus que comme simple destructeur de la nature.

Les visions interdisciplinaires sont aussi très présentes. En cycle 4, le terme biodiversité est utilisé 5 fois dans un court paragraphe qui est présenté « En lien avec la géographie, les langues vivantes, le français... ». Celui-ci reprend des thématiques présentes dans les discussions internationales sur la biodiversité⁹⁶ : « Biodiversité, préservation et utilisation de

⁹⁶ C'est notamment le cas du *millenium ecosystem assement* (voir B - Dimensions sociales du concept de biodiversité , p.80)

la biodiversité ; sciences participatives ; biodiversité locale, biodiversité mondiale ; rapport à la biodiversité dans différentes cultures ; traçabilité des pêches, du bois ; impacts du changement climatique ; mondialisation et espèces invasives. ». Cette vision interdisciplinaire des questions sociales correspond à celle mise en avant dans le cadre d'une éducation à la biodiversité mais le lien entre la préservation de la biodiversité et le fonctionnement évolutif des populations n'est pas présent. De même, en Seconde, il est évoqué « La représentation d'animaux ou végétaux actuels ou disparus met en scène un dialogue entre les connaissances scientifiques et les pratiques artistiques ; etc. », sans que les conditions et intérêt de ce dialogue ne soit présentés. Au final, la place des connaissances évolutives et dynamiques semble peu importante dans la présentation de la protection de la biodiversité, ce qui peut conduire à une vision très fonctionnaliste au détriment des processus historiques⁹⁷.

Enfin, la biodiversité est aussi largement abordée en lien avec l'agriculture. En Seconde, une partie du programme s'intitule « Le sol : un patrimoine durable ? » et indique notamment que l'agriculture « entre en concurrence avec la biodiversité naturelle. ». Cette présentation se prolonge en Première S où la gestion de la biodiversité est envisagée dans le cadre des pratiques agricoles : « Le but de cette partie est de montrer en quoi les pratiques alimentaires individuelles répétées collectivement peuvent avoir des conséquences environnementales globales. ». La logique présentée est celle d'une opposition entre « les flux naturels de biomasse » que l'Homme « détourne partiellement à son profit » ce qui aboutit à ce que « ces deux productions entrent en concurrence » (Première S). Cette présentation statique d'une

⁹⁷ Pour une présentation des possibles visions évolutives de la protection de la biodiversité et l'intégration des processus historiques, voir Déterminer le potentiel évolutif pour décrire la dynamique de la biodiversité, p.24.

biodiversité qui serait naturelle et en concurrence avec les pratiques agricoles n'aborde pas du tout la problématique de la biodiversité des espèces cultivées et ses enjeux.

Ce dernier point concernant les espèces cultivées est traité seulement en Terminale S par une réflexion plus génétique : « Sans chercher l'exhaustivité, il s'agit de montrer que l'Homme agit sur le génome des plantes cultivées et donc intervient sur la biodiversité végétale. ». Dans ce cadre, « une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents ; c'est une forme de biodiversité. »

ÉLÉMENTS ÉTHIQUES

Si l'un des objectifs des programmes est d'« adopter un comportement éthique et responsable » (Cycle 4), le point le plus mis en avant dans le curriculum pour adopter ces comportements est celui de se baser sur des « arguments scientifiques ». Ainsi en cycle 4, il faut « fonder ses choix de comportements responsables vis-à-vis de sa santé ou de l'environnement sur des arguments scientifiques ». En Première S le programme permet : « [...] d'introduire les bases scientifiques nécessaires à une réflexion éclairée sur les choix. ». Enfin, en Terminale S « Les éléments scientifiques introduits ici permettent un débat sur l'usage de telle ou telle méthode [...] ».

Cependant, nous venons de voir dans la partie précédente (partie : Protection ou gestion de la biodiversité, p.142) que les approches de protection de la biodiversité sont largement simplificatrices et ne font pas le lien entre la préservation de la biodiversité et le fonctionnement évolutif des populations. Ceci conduit à se demander si la volonté de fonder une réflexion éclairée sur les éléments scientifiques du programme est bien possible en l'état actuel du curriculum. En effet, il semble difficile pour les élèves de se baser sur les connaissances évolutives pour penser de possibles actions de protection de la biodiversité alors que le curriculum ne fait pas ce lien lorsqu'il aborde les thèmes liés à la protection ou à la gestion de la biodiversité.

En complément de cette volonté de s'appuyer sur les savoirs scientifiques, les programmes prônent la neutralité. En Première S : « il ne s'agit pas d'enseigner les choix qui doivent être faits [...] ». De même, en Terminale S, « [...] il n'entre pas dans les objectifs de l'enseignement scientifique de trancher, à lui seul, la controverse » (Terminale S). Ceci correspond au désir

d'éduquer au choix et non d'enseigner des choix dans la mise en place de l'éducation au développement durable (Bonhoure, 2008). La dimension éthique semble donc avoir été volontairement mise à distance dans le cadre d'un enseignement scientifique.

Mais dans le même temps, le positionnement social est anthropocentrique puisque la biodiversité est essentiellement une ressource pour les humains⁹⁸. Le programme de SVT ne permet donc pas de construire d'autre point de vue sur la biodiversité que celui anthropocentrique. Ainsi, on peut se demander s'il s'agit bien d'un positionnement de neutralité ou plutôt d'un cas de partialité implicite qui ne permet pas de développer un positionnement biocentrique ou écocentrique (Pour une présentation des positionnements biocentrique et écocentrique, voir Positionnements éthiques et services écosystémiques, p.91)

6.2. Analyse lexicométrique quantitative

6.2.1. Analyse générale

Nous nous sommes dans un premier temps intéressé à identifier les principales thématiques abordées dans les programmes scolaires actuels. L'annexe 4 présente le fichier de données utilisé avec IRaMuTeQ. Nous avons donc utilisé l'ensemble des programmes actuellement en vigueur (textes officiels de 2015 pour les cycles 3 et 4 et textes de 2010 et 2011 pour le lycée). L'analyse hiérarchique descendante a été réalisée sur l'ensemble du corpus (

⁹⁸ Si la classe de seconde va tout de même permettre d'évoquer la « responsabilité humaine face à l'environnement et au monde vivant », les approches éthiques ou issues des théories critiques sont également absentes de ce programme.

Figure 15A). Elle met en évidence un découpage en trois classes pour lesquelles les termes les plus fréquents sont associés. Sur cette base, nous avons interprété la première classe comme une classe de l'étude scientifique de la biodiversité, la seconde classe, comme celle des recherches d'information sur les pratiques agricoles et de production alimentaire et la troisième classe comme celle de l'exploitation des ressources de l'environnement.

Si la

Figure 15A permet de mettre en évidence le découpage du corpus, elle ne dit rien sur les distances ou superpositions lexicales entre classes. Pour compléter l'analyse, une Analyse factorielle des correspondances (AFC) issue des classes permet de visualiser dans le plan factoriel les détachements ou les superpositions de classes (

Figure 15B). Cette AFC montre le détachement important entre chacune des classes. L'axe 1 représente 58 % de l'inertie totale et oppose globalement la classe 1 aux classes 2 et 3. L'axe 2 représente 42 % de l'inertie totale et discrimine quant à lui la classe 2 de la classe 3.

Cette première analyse permet de déterminer globalement trois classes distinctes, mais elle est insuffisante pour déterminer l'organisation existant dans chacune des classes. Nous avons donc effectué pour chacune des trois classes une analyse de cooccurrence permettant de mettre en évidence l'organisation existant au sein de chaque classe. En complément, nous avons identifié des extraits du corpus associé avec chacune des classes qui permettent de compléter et de préciser notre analyse.

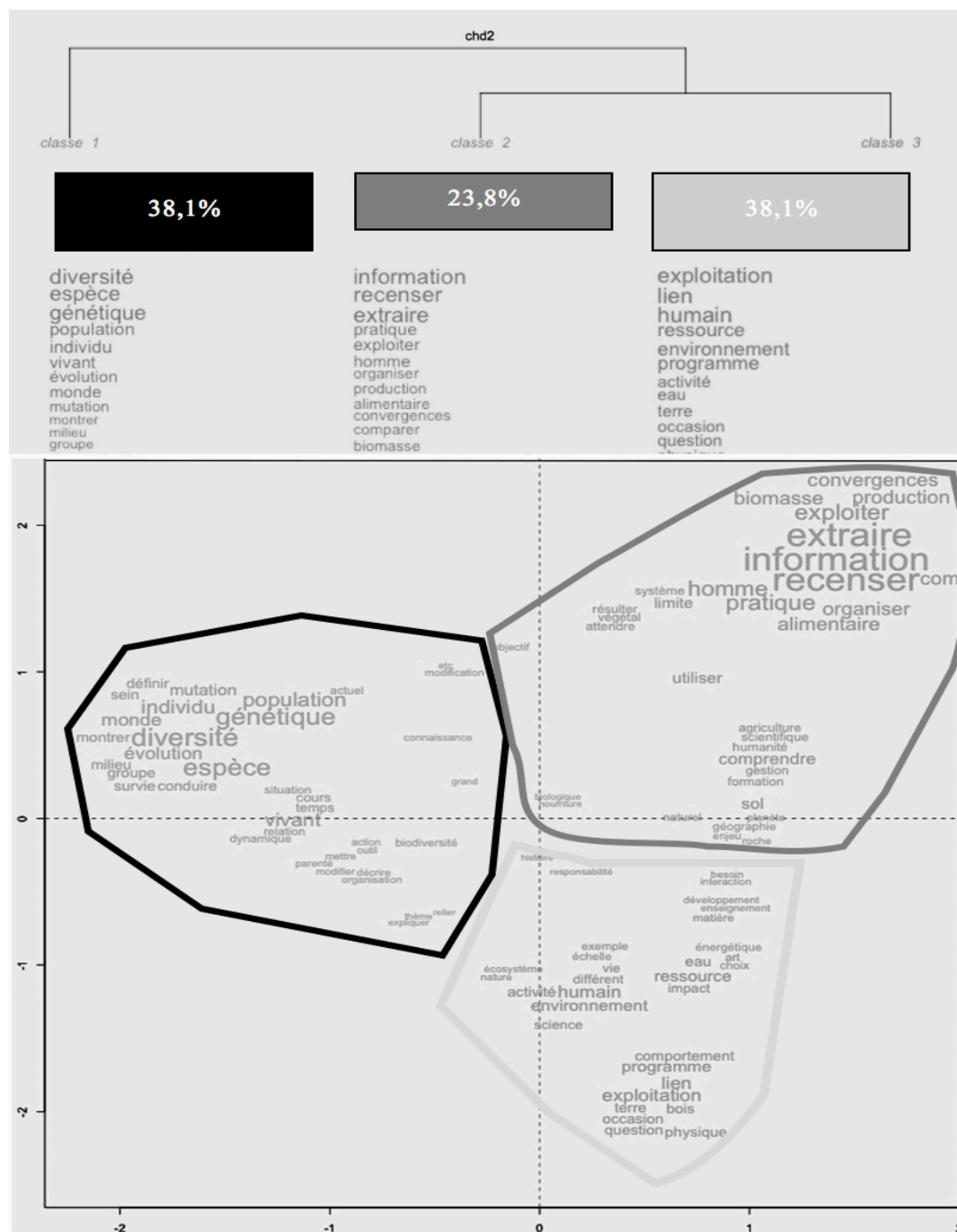


Figure 15 : Résultats de l'analyse hiérarchique descendante réalisée sur les programmes actuels de sciences et technologie et de SVT (du cycle 3 à la classe de Terminale S). La figure 2A présente l'arbre de classification obtenu par analyse hiérarchique descendante et les principaux mots associés à chacune des classes. La figure 2B correspond à l'analyse factorielle des correspondances associées.

6.2.2. Etude scientifique de la biodiversité

La classe de l'étude scientifique de la biodiversité comporte 16 occurrences du mot diversité. La Figure 16 montre que ce terme est largement relié aux termes de vivant (13 occurrences) génétique (12 occurrences), mutation (5 occurrences) et population (10 occurrences). Nous laisserons de côté le terme de vivant trop polysémique pour être facilement interprété. Concernant les trois autres termes, on remarque la prédominance des notions liées à la génétique directement ou indirectement à travers le terme mutations. Le terme population est lui relié au nom « cours » utilisé dans les expressions « au cours du temps », « au cours des générations » et « au cours de l'histoire ».

La Figure 16 montre également que la biodiversité (13 occurrences) est reliée à la notion d'espèce (15 occurrences). La cooccurrence plus importante de la notion d'espèce avec celle de biodiversité se retrouve notamment en cycle 4 qui propose de « Mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer : [...] la biodiversité (diversité des espèces), la diversité génétique des individus, l'évolution des êtres vivants. ». Cette proximité montre que la biodiversité est largement associée à la notion de diversité à trois niveaux : génétique, populationnel et spécifique. La biodiversité y est présentée comme une diversité spécifique qu'il faudrait relier à une diversité génétique qui lui serait extérieure.

D'une manière un peu différente, en classe de Seconde, il est précisé que « La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces. L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant [...]. ». Cet extrait du programme de Seconde illustre bien les tensions présentées dans la figure 1 entre une vision naturaliste d'une biodiversité à inventorier et une vision de la biodiversité comme étape d'un processus évolutif. Enfin, en classe de Terminale Scientifique, malgré les nombreuses connaissances construites sur les notions évolutives, la proximité, bien que nuancée, est maintenue : « La diversité du vivant est en partie décrite comme une diversité d'espèces. »

Il semble donc que les programmes présentent dans leurs dimensions scientifiques de l'étude de la biodiversité une tension entre une description structurelle de la biodiversité (la biodiversité est la diversité génétique, spécifique et populationnelle) et l'analyse des processus évolutifs qui lui ont donné naissance. Dans ce cadre, il faut noter l'absence au sein des programmes des termes écosystème et résilience. Ceci montre l'absence de développement des approches d'écologie scientifique et notamment des aspects liés à la résilience des écosystèmes et plus généralement de la prise en compte des liens entre la diversité du vivant et les approches fonctionnalistes des écosystèmes.

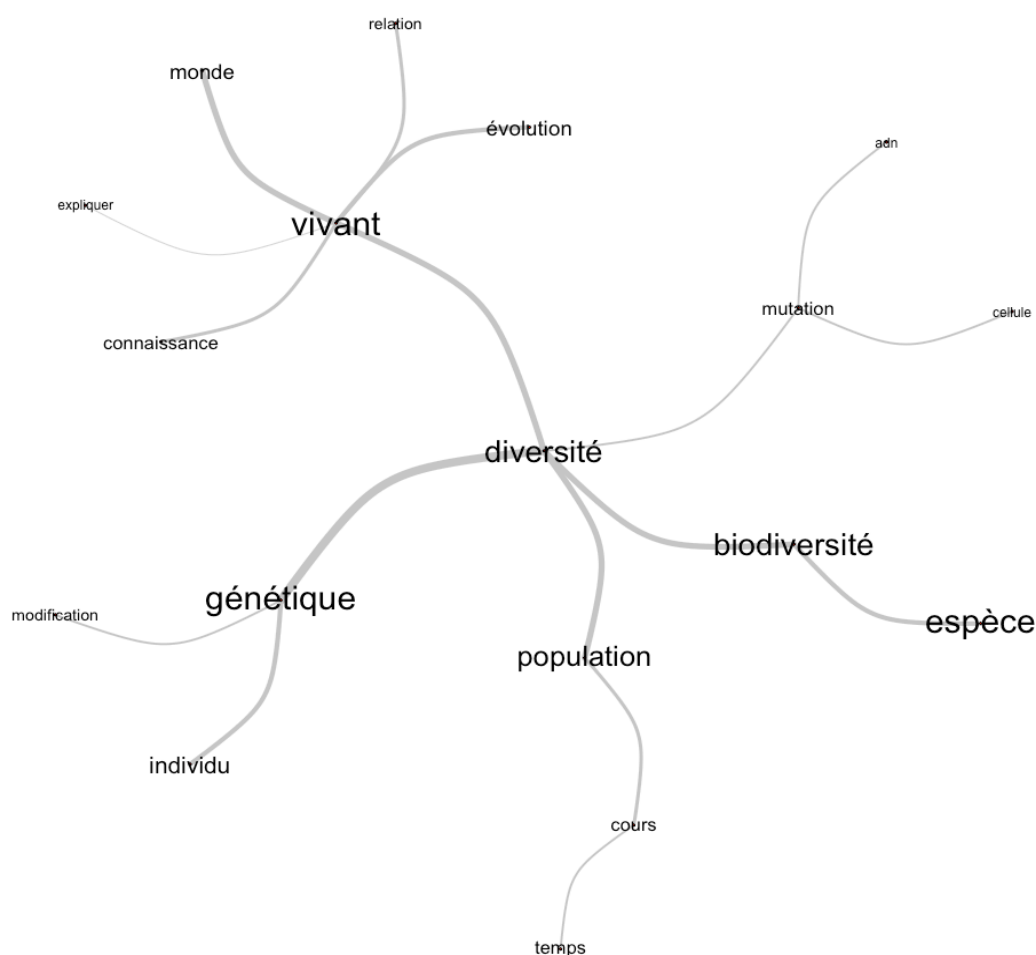


Figure 16: Analyse des cooccurrences pour le sous-corpus correspondant à la classe « Etude scientifique de la biodiversité ». Plus la taille des mots est grande, plus ils sont fréquents dans le corpus, plus les traits sont épais, plus les mots sont cooccurents. Seuls les mots présents en plus de 4 occurrences sont représentés.

6.2.3. Pratiques agricoles et de production alimentaire

La classe des pratiques agricoles et de production alimentaire (Figure 17) est marquée par la prédominance de trois termes : information (8 occurrences), extraire (7 occurrences) et recenser (8 occurrences). Ces termes proviennent tous des programmes de lycée où ils apparaissent systématiquement dans deux expressions : « recenser extraire et organiser des informations » ou « recenser extraire et exploiter des informations ».

En dehors de ces expressions, plusieurs termes renvoient plus ou moins directement au domaine agricole comme les termes sol, pratiques (alimentaires, agricoles ou culturelles) et production (de biomasse ou végétale). La Figure 17 montre qu'il est demandé d'extraire des informations sur ces productions et exploitations agricoles réalisées par l'homme et de recenser les pratiques. Le terme naturel est ici utilisé largement dans le programme de Seconde : « Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse. L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. Elle entre en concurrence avec la biodiversité naturelle » ou « l'homme intervient sur les flux naturels de biomasse et les détourne partiellement à son profit ». La notion de naturel est donc vue ici en opposition aux pratiques agricoles.

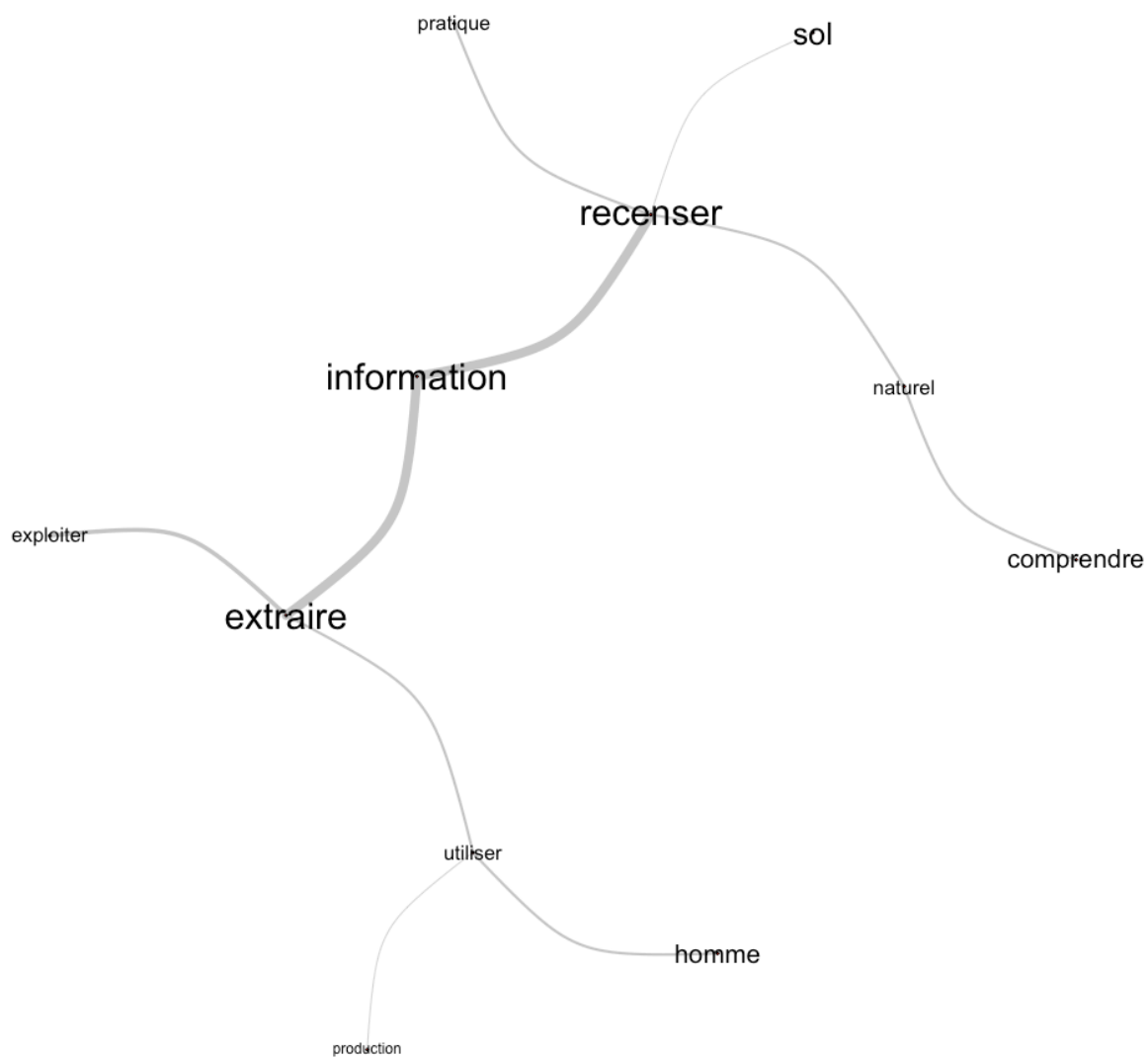


Figure 17 : Analyse des cooccurrences pour le sous-corpus correspondant à la classe « Pratiques agricoles et de production alimentaire ». Plus la taille des mots est grande, plus ils sont fréquents dans le corpus, plus les traits sont épais, plus les mots sont cooccurents. Seuls les mots présents en plus de 4 occurrences sont représentés.

6.2.4. Exploitation des ressources de l'environnement

La classe de l'exploitation des ressources de l'environnement est marquée par la prédominance de deux termes : ressource (13 occurrences) et humain (12 occurrences). C'est bien ici une vision de l'exploitation par l'Homme des ressources naturelles qui se dégage. En ce sens, la biodiversité (10 occurrences) est majoritairement reliée à la notion d'exploitation dans une vision de son utilisation par l'Homme (Figure 18). Ceci est clairement exprimé en cycle 4 : « Comprendre les responsabilités individuelles et collectives en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé. ». L'idée d'une biodiversité vue comme une ressource est aussi marquée par la présence de la question de l'exploitation de l'eau (7 occurrences) vue comme une autre ressource essentielle. Cette question de l'exploitation implique aussi des interrogations sur ses effets sur l'environnement (7 occurrences).

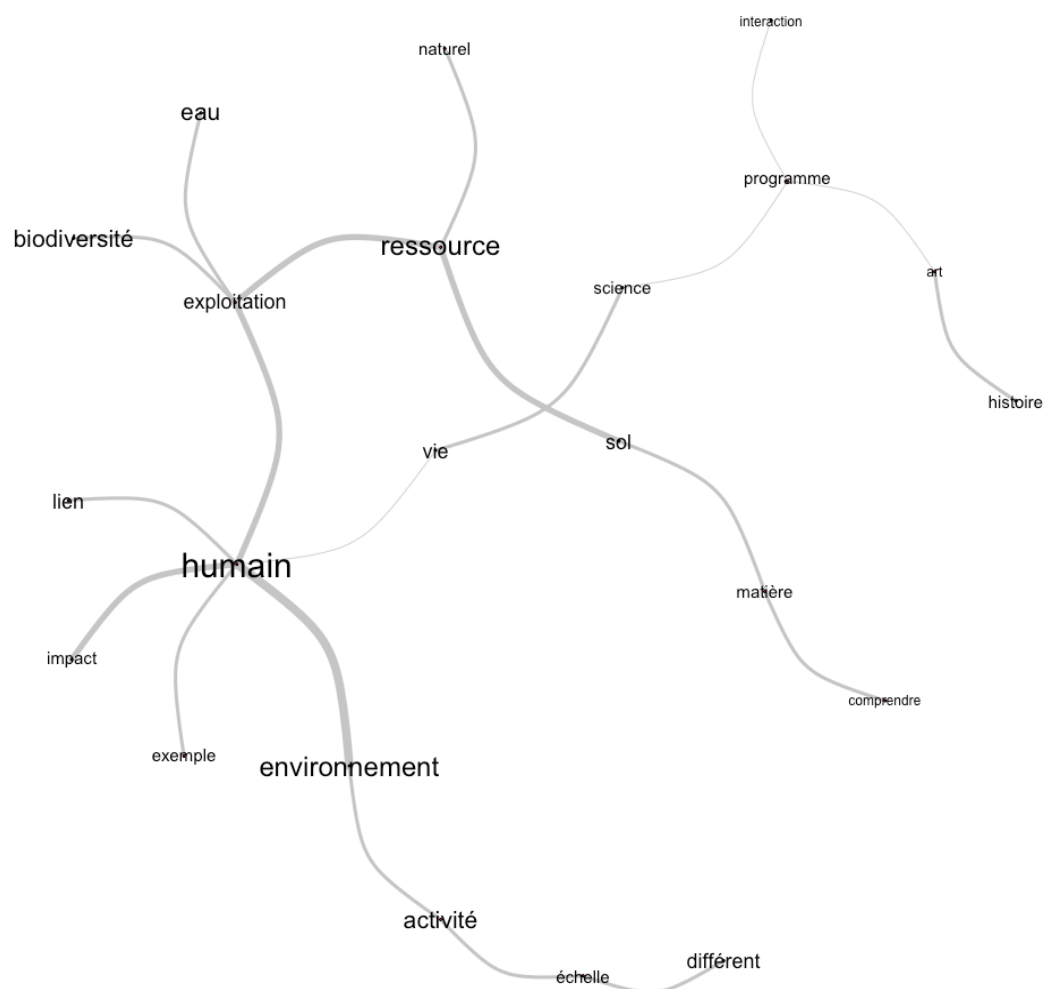


Figure 18 : Analyse des cooccurrences pour le sous-corpus correspondant à la classe « Exploitation des ressources de l'environnement ». Plus la taille des mots est grande, plus ils sont fréquents dans le corpus, plus les traits sont épais, plus les mots sont cooccurents. Seuls les mots présents en plus de 4 occurrences sont représentés.

7. BILAN DE L'ANALYSE DU CURRICULUM PRESCRIT

A l'issue de cette analyse du concept de biodiversité dans le programme scolaire de sciences et de technologie, nous pouvons dresser un rapide bilan des résultats obtenus. Il faut repréciser ici que notre choix de constitution du corpus est basé sur la recherche des parties du programme qui sont liées à la biodiversité. Ceci est important car notre analyse prend en compte ce qui est effectivement associé avec le mot biodiversité dans les programmes mais n'analyse pas l'ensemble du programme. Nous avons aussi fait le choix de combiner deux approches méthodologiques différentes pour analyser le même corpus. Cette triangulation méthodologique a abouti à des résultats assez proches. Dans ce bilan, nous allons analyser globalement les résultats de ces deux méthodologies.

La biodiversité est présentée dans les programmes français selon deux orientations épistémologiques classiques correspondant à celles présentées dans la Figure 9 (p.101), à savoir un axe scientifique et un axe de protection de la biodiversité. Concernant l'axe scientifique, nous avons montré que l'essentiel des connaissances s'articule autour d'une vision descriptive de la biodiversité largement orientée vers la diversité spécifique ou populationnelle et d'aspects liés à la théorie de l'évolution. L'autre axe aborde la protection de la biodiversité via l'exploitation des ressources de l'environnement mais l'analyse quantitative fait aussi ressortir l'importance des pratiques agricoles et de production alimentaire. La biodiversité y est largement présentée comme une ressource et l'agriculture comme une pratique en concurrence avec la diversité naturelle. Ces deux axes sont largement indépendants l'un de l'autre tant dans l'analyse thématique que dans l'analyse quantitative (

Figure 15, p.148) et ceci rejoint un constat que nous avons déjà réalisé en 2013 en analysant les programmes précédents avec une autre méthodologie (Barroca-Paccard et al., 2013). Cette tendance à la séparation des dimensions scientifiques et environnementales donne l'impression que la protection de la biodiversité peut se penser en dehors de toute réflexion évolutive. Or il est illusoire de vouloir protéger la biodiversité actuelle, car « *The very concept of preservation assumes that there is something to preserve, but in a state of constant flux, there is no way to*

*identify that something it is a ghost, an illusion of that which does not exist at all.*⁹⁹ » (Robbins, 2016, p.84). Cette importance de la prise en compte de l'histoire évolutive a aussi été signalée d'un point de vue didactique : « L'intégration de l'échelle historique permet d'aborder la biodiversité dans un cadre évolutionniste, ce qui invalide les solutions de protection fixistes et permet d'envisager diverses solutions de protection conservationnistes ou/et préservationnistes sur lesquelles il n'y a pas de consensus. » (Lhoste et Voisin, 2013). Sa mise en place dans les programmes repose largement sur une vision dynamique des systèmes naturels qui peut être rapprochée de modèles fréquemment utilisés en sciences qui considèrent la dynamique d'un système à partir des flux d'entrée et de sortie et pour lesquels il existe déjà des travaux (Orange et Orange, 1995, p.31). Il ne semble donc pas exister de raisons scientifiques ou didactiques à la persistance de cette dichotomie. En ce sens, on peut donc considérer que cette persistance d'une séparation des dimensions sociales et scientifiques au sein du programme de SVT constitue une partie du curriculum caché de la biodiversité.

Nous avons montré que les approches biotechnologiques sont évoquées dans le programme de cycle 4. En revanche, la notion de services écosystémiques ne figure pas du tout dans les programmes analysés. Il peut paraître surprenant de voir figurer les biotechnologies pour l'environnement, mais pas les services écosystémiques alors que ces derniers sont devenus un élément incontournable depuis la publication du *Millenium Ecosystem Assessment* en 2005 (Girault et Alpe, 2011). Cependant cette différence de traitement curriculaire nous semble associée à la très faible représentation des aspects fonctionnalistes et des connaissances en écologie scientifiques dans les programmes actuels.

⁹⁹ « [Traduction libre] Le concept même de préservation suppose qu'il y a quelque chose à préserver, mais dans un état de flux constant, il n'y a aucun moyen d'identifier ce quelque chose c'est un fantôme, une illusion de ce qui n'existe pas. »

Enfin, on peut se demander ce qui a changé dans l'enseignement de la biodiversité au primaire et au collège depuis notre étude réalisée en 2013 qui correspondait aux anciens programmes des actuels cycle 3 et cycle 4 (Barroca-Paccard et al., 2013). Il nous semble que l'aspect le plus évident est que la biodiversité est de plus en plus considérée comme devant être intégrée dans une approche d'éducation à la biodiversité considérée comme interdisciplinaire. Ceci se manifeste dans le corpus analysé pour le cycle 4 par le fait que sur les 10 occurrences du terme biodiversité, 5 proviennent d'une partie du programme de cycle 4 qui doit être réalisé en lien avec d'autres disciplines. Cette proposition de croisements disciplinaires s'inscrit beaucoup plus clairement dans une approche d'éducation à un développement durable en intégrant notamment des aspects sociaux (sciences participatives) ou économiques (mondialisation). Bien que mal représenté dans les analyses, cet aspect nous semble important car il montre une volonté d'inscrire dans une approche interdisciplinaire les questions de biodiversité liées à des approches de développement durable. Ce point est aussi renforcé par la présence dans le programme de géographie de Cycle 3 de deux mentions de la biodiversité : « La place réservée dans la ville aux espaces verts, aux circulations douces, aux berges et corridors verts, au développement de la biodiversité, le recyclage au-delà du tri des déchets, l'aménagement d'un écoquartier sont autant d'occasions de réfléchir aux choix des acteurs dans les politiques de développement durable » et « Habiter un espace de faible densité à vocation agricole.[...] On mettra en évidence les représentations dont ces espaces sont parfois l'objet ainsi que les dynamiques qui leur sont propres, notamment pour se doter d'une très grande biodiversité ».

Ainsi les évolutions curriculaires observées dans le programme officiel français montrent un infléchissement vers des croisements disciplinaires. Cet infléchissement devrait favoriser les approches interdisciplinaires et développer une vision multidisciplinaire de la biodiversité de la part des élèves. En ce sens, les programmes scientifiques ont un rôle important à jouer, car « La construction délimitation du champ de validité des savoirs scientifiques dans le cadre d'une éducation au discernement nous semble être une condition nécessaire de l'apport de l'enseignement scientifique à la construction du concept de biodiversité qui se réfère à des champs. » (Lhoste et Voisin, 2013). Cependant la persistance d'un curriculum caché basé sur une dichotomie entre protection et étude scientifique de la biodiversité ne permet pas actuellement de faciliter cette éducation au discernement. Il semble donc nécessaire de penser

une approche curriculaire différente qui permettrait de dépasser ce curriculum caché et ainsi de pouvoir penser des croisements disciplinaires féconds.

Nous allons maintenant présenter une étude de cas réalisée en classe de troisième qui s'intéresse à la mise en place d'un enseignement de la biodiversité dans le cadre des SVT.

**E - La scolarisation de la
biodiversité, étude de cas
sur les conditions
d'apprentissages des
élèves**

L'enseignement de la biodiversité en classe est souvent présenté dans le cadre d'une opposition entre d'une part, l'enseignement traditionnel existant qui consisterait essentiellement en une acquisition de connaissances scientifiques propositionnelles concernant les dégradations environnementales et d'autre part, un enseignement de compétences à développer permettant de penser un enseignement orienté vers l'action (Voir par exemple Jensen, 2002). Cependant, si l'idée d'un enseignement pour l'action semble souhaitable, il pourrait aussi conduire à une approche comportementaliste sans aucune dimension critique, basée sur la mise en place de « bons gestes » issus d'un « catéchisme républicain » sans que ceux-ci ne fassent sens pour les élèves (Fleury et Fabre, 2006).

Cette absence de dimension critique est par exemple illustrée par la proposition de l'UNESCO dans une vidéo de présentation réalisée pour montrer comment l'éducation peut aider à mieux comprendre la valeur de la biodiversité et comment les éducateurs et les élèves peuvent s'impliquer et aider à conserver la biodiversité :

Prenons par exemple un groupe d'élèves du secondaire qui va observer ce qu'il reste de la forêt dans une zone protégée. Après avoir appris l'importance des forêts, les élèves discutent des causes de la déforestation dans différentes communautés et des effets sur leurs moyens de subsistance ainsi que sur le climat et autres aléas naturels. Ils développent ensuite une liste de mesures simples à prendre pour aider à restaurer la forêt et à mieux la gérer à travers des gestes qu'ils peuvent adopter à l'école et à la maison. Pour partager ces idées avec d'autres écoles et leur communauté, ils animent une émission de radio locale pour encourager les gens à replanter des arbres. Durant les fêtes locales, ils organisent des activités et des jeux de rôles pour sensibiliser les gens aux différents aspects de la préservation de l'environnement ainsi qu'à l'utilisation et à la protection des ressources dans les zones protégées.

(UNESCO - Organisation des Nations unies pour l'éducation la science et la culture, 2012)

Cet exemple considère ainsi un enseignement basé sur l'apprentissage de l'importance des forêts et la discussion sur les causes et conséquences de sa disparition. Cette phase d'apprentissage serait suivie d'une phase d'action basée sur des gestes simples et sur de la communication auprès de la communauté proche de l'école. Dans cet exemple, il semblerait exister un lien simple et évident entre l'étude de la forêt, l'importance de sa protection et la mise en place d'actions pro-environnementales accessibles aux élèves. Ceci n'a pourtant rien d'évident, puisque la mise en place d'actions efficaces face à la déforestation est un processus complexe qui nécessite de comprendre les dynamiques écologiques mais aussi le rôle des différents acteurs humains à l'échelle d'un territoire. Ainsi, ce type d'approche de

l'enseignement de la biodiversité conduit-il à envisager de bons gestes qui semblent évidents (replanter des arbres) mais dont on peut douter de l'efficacité.

Pour dépasser ces bons gestes, il semble important de se poser la question des liens existants entre la mise en place d'actions et les savoirs en jeu. Lange, Trouvé et Victor (2007) considèrent ainsi que dans le cadre des « éducations à l'environnement », les savoirs doivent être vus comme un élément permettant de faire acquérir aux élèves une « opinion raisonnée ». En ce qui concerne plus spécifiquement la biodiversité, Lhoste et Voisin (2013) proposent un enseignement où la construction du champ de validité des savoirs se réalise dans le cadre d'une éducation au discernement.

Pour y parvenir, il est nécessaire de se poser la question des savoirs et des problèmes construits dans le cadre d'un travail sur la biodiversité. En ce sens, Fabre (2014) propose de se baser sur un travail de problématisation des savoirs en jeu dans le cadre des « éducations à ». Nous allons situer notre étude de cas dans ce cadre de la problématisation des savoirs. Nous allons donc présenter l'approche problématisée dans l'enseignement scientifique qui a été particulièrement mise en avant par Orange, Fabre et leur équipe au sein du CREN de Nantes, reprenant notamment les travaux de Dewey, de Bachelard et de Meyer (Fabre, 1999, 2009; Orange, 2005). Nous envisagerons ensuite sa mobilisation possible dans le contexte d'un enseignement scientifique (SVT) de la notion de biodiversité en classe de troisième.

8. CHOIX MÉTHODOLOGIQUES

8.1. Problématisation des savoirs en SVT

Les chercheurs qui s'inscrivent dans le cadre de la problématisation scientifique considèrent que les savoirs scientifiques ne peuvent exister en dehors des problèmes auxquels ils répondent. Il existe ainsi un lien dynamique entre le problème et le savoir, ou plutôt, il n'existe un « savoir des réponses » qu'en lien avec un « savoir des questions » (Fabre, 2007)¹⁰⁰. En d'autres mots, il s'agit moins de chercher à résoudre des problèmes que de chercher à les construire pour en tirer des savoirs : « pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. » (Bachelard, 1938/2001, p.16).

¹⁰⁰ Ceci permet de dépasser le dilemme du *Menon* formulé par Platon : « Ce que l'homme connaît il ne le cherche pas parce qu'il le connaît, et sachant cela il n'a nul besoin de le chercher ; mais ce qu'il ne connaît pas, il ne le cherche pas non plus, parce qu'il ne saurait pas ce qu'il doit chercher » Le paradoxe du Menon confond en effet deux types de savoirs: le savoir des questions et le savoir des réponses.

« Je sais que j'ai perdu mes clés. Si je l'ignorais je ne les chercherais pas, je serais pour ainsi dire dans une heureuse ignorance. Lorsque je pose la question "où diable ai-je pu laisser mes clés?", cette question enveloppe bien une sorte de savoir, lequel me fait sortir de ma torpeur. C'est le savoir de la question qui renvoie ici à la conscience d'un manque, d'un besoin. Sans cette conscience (ce que Platon d'ailleurs appelait l'étonnement), il n'y aurait pas de recherche possible. On dira qu'un problème m'est posé ou encore que j'ai un problème. Mais ce savoir de la question n'est pas du tout un savoir de la réponse. Et pourtant, en posant la question, je détermine par avance la forme de la réponse ou encore le type de réponse que j'attends, une réponse en terme de localisation. Et l'anticipation de cette forme est ce qui permet précisément au questionnement de se déployer. La question "où?" se précise alors en un bouquet d'hypothèses: les ai-je laissées au bureau? Au restaurant où j'ai pris mon repas? Dans ma voiture? » (Fabre, 2009, p.202)

Dans ce cadre général de la problématisation, les savoirs scientifiques présentent aussi la particularité d'être basés sur la notion de nécessité. En ce sens, ces savoirs ne doivent pas être considérés d'un point de vue assertorique (vrai/faux) mais pour leur caractère apodictique (Fabre, 1999; Fabre et Orange, 1997; Orange, 2000).

Faire des sciences c'est donc abandonner une connaissance d'opinion, une connaissance mal questionnée, assertorique, c'est-à-dire réduite à un simple constat, pour une connaissance qui, une fois problématisée, sera fondée en raison, deviendra apodictique. C'est le cas lors de la rupture fondamentale que met en avant Bachelard entre connaissance commune et savoir scientifique (Fabre et Orange, 1997, p.40)

L'important n'est donc pas tant de changer d'idée pour accéder à un savoir « vrai » mais de construire une problématique et de travailler le(s) problème(s) pour accéder à un savoir qui acquiert un statut de nécessité.

En se basant sur les travaux menés sur la modélisation (Martinand, 1986; Orange, 1997), Orange propose de considérer la problématisation du savoir scientifique en se basant sur la mise en tension du registre empirique, « celui des faits et des phénomènes que l'on cherche à expliquer » et du registre des modèles, « celui des élaborations explicatives construites comme tentatives de solution » (Orange, 2003, p.86). Les tensions entre registre empirique et registre des modèles se font dans le cadre d'un troisième registre : le registre explicatif (REX) constitué des « références explicatives spontanées ou habituelles du modélisateur » (Orange, 2000, p.25). Celui-ci permet d'envisager différentes façons de mettre en relation les éléments du registre empirique et ceux du registre des modèles. Il contient donc des éléments, techniques, heuristiques et d'intelligibilité qui permettent la construction de nombreux modèles (Orange, 1997).

La dynamique du processus de problématisation peut dans ce cadre être perçue comme le dépassement de la connaissance ordinaire par la construction et la mise en place d'une tension entre les contraintes empiriques et celles des modèles dans le cadre d'un registre explicatif (Figure 19). « Dans l'approche tensionnelle entre les registres, le modèle n'est plus qu'une solution réalisant les nécessités » (Orange Ravachol, 2003, p.73). Problématiser « [...] consiste, partant d'une question, à la relier à un cadre théorique jugé pertinent, à en explorer les possibles et à identifier des raisons qui contraignent les solutions » (Orange, 2002, p.31).

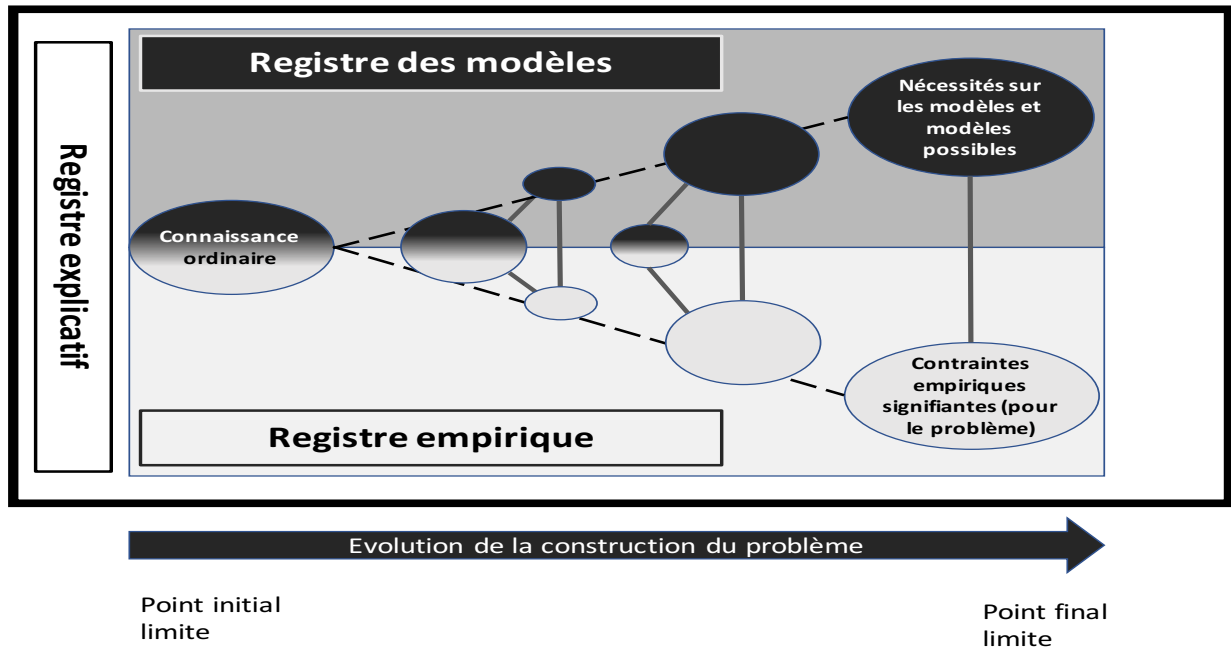


Figure 19 : Représentation de la construction du problème de la connaissance ordinaire au savoir scientifique (modifié d'après Orange (2000, p.27)).

Problématiser, c'est ainsi se poser la question de "pourquoi cela ne peut pas être autrement". Si l'enseignement des sciences ne prend pas en charge les nécessités, cela entraîne le renoncement au caractère apodictique des savoirs et ceux-ci deviennent uniquement assertoriques en ne retenant que les solutions.

Après cette rapide présentation du cadre de la problématisation scientifique, il faut signaler que la mise en place d'un enseignement problématisé des questions socio-environnementales pose de nombreux défis. Nous avons choisi de nous intéresser aux différents éléments que des élèves pourraient mobiliser dans une classe troisième de collège. C'est en fait plus la question de la faisabilité d'une problématisation que nous allons interroger. Ce choix nous a amenés à développer une méthodologie originale à la fois pour les recueils des données et pour leur analyse que nous allons présenter.

8.2. Méthodologie de recueil des données

8.2.1. Méthodologie de construction d'une séquence d'enseignement

Les approches problématisées des savoirs reposent sur une compréhension fine de situations d'enseignements. Elles sont donc presque toujours abordées par des études de cas. Dans ce cadre, le chercheur va enregistrer ce qui se passe en classe pour chercher ensuite à déterminer la manière dont se structurent les problèmes et les savoirs.

Si les situations ordinaires permettent de « rendre compte du travail des élèves et des professeurs, dans les classes ordinaires (Mercier, 2008, paragraphe 90), elles présentent aussi des limites car « chaque domaine didactique doit construire des faits, des phénoménologies savantes, en lien étroit avec le développement de cadres théoriques. » (Orange, 2010, p. 76). Face à cette difficulté méthodologique, Orange (2010) introduit le concept de situations et de séquences forcées, qui « « tordent la queue du lion », non pas avec la prétention de proposer des situations reproductibles et exemplaires, mais avec celle d'explorer de nouveaux territoires de l'espace didactique. »¹⁰¹ (*Ibid*, p.76). Les situations forcées reposent sur un groupe comportant chercheur et enseignant. Avant chaque séance, le groupe construit la préparation des séances en fonction des objectifs d'enseignement et de recherche poursuivis et de ce qui s'est passé lors des séances précédentes. En ce sens, il est nécessaire que le chercheur et l'enseignant partagent un minimum d'éléments de connaissance sur le groupe d'élèves et sur la problématique de recherche.

¹⁰¹ Ces situations construites sont contraintes par la théorie et n'ont pas vocation à être exemplaires.

Nous avons mis en place une approche de ce type pour concevoir une séquence (partiellement) forcée en collaboration avec un enseignant de SVT d'une classe de troisième générale (élèves de 14-15 ans) pour étudier les conditions de possibilités d'un enseignement de la biodiversité qui intègre les dimensions sociales de protection de la biodiversité. Nous allons présenter la séquence mise en place et le corpus de données obtenu.

8.2.2. Présentation de la séquence mise en place

Le travail a été mené en 2015 dans un collège public de Laval (Mayenne) qui est un collège « ordinaire » ne relevant pas de l'éducation prioritaire. Ce collège est cependant un ancien collège ZEP et il a obtenu en 2016 un taux de réussite de 78,29 % au brevet des collèges inférieur à la moyenne départementale de 89,63 % et un taux de mention de 55,04 % (contre 64,63 % pour le département). L'enseignant était impliqué dans de nombreux projets de son établissement ainsi que dans des projets académiques. Nous avons eu l'occasion de collaborer à plusieurs reprises sur d'autres projets et ceci a permis d'envisager une collaboration efficace.

La séquence mise en place avait pour objectif de chercher à explorer les conditions de possibilité d'une problématisation de la notion de biodiversité. Elle a donc été construite autour d'une situation de classe proche des situations d'enseignement ordinaire réalisé par l'enseignant. Ainsi les habitudes de travail ne favorisaient pas les débats oraux. De plus la période de l'année (fin mai, début juin) et les classes considérées ne semblaient pas favorables à une modification de ce fonctionnement. Nous avons donc mis en place une séquence qui ne met pas en place des débats soutenus. Notre recueil de données s'appuie exclusivement sur

l'analyse des traces écrites des élèves. Les travaux des élèves ont donc été réalisés sur des feuilles fournies et nous avons anonymé les productions des élèves avant analyse¹⁰².

Cette situation a cependant été en partie forcée car les enseignements ont été co-construits de manière à essayer d'identifier les possibles interactions entre les éléments connus des élèves et leur prise de position dans le cadre d'une étude d'une situation locale impliquant la protection de la biodiversité. Le travail mené a consisté en l'élaboration d'une première proposition de séquence qui a été envoyée à la fois à ma directrice de thèse (Denise Orange Ravachol) et à l'enseignant. Après intégration des commentaires, une réunion a eu lieu avec l'enseignant pour faire les derniers ajustements nécessaires avant la première séance. A l'issue de la première séance, un bilan a eu lieu avec l'enseignant de la classe et le chercheur directement dans l'établissement. Ce processus a été répété pour chaque séance. Une présentation d'ensemble de la séquence mise en œuvre est disponible dans l'annexe 5. Un tableau synthétique des questions posées aux élèves est aussi disponible (Tableau 8, p.170)

Notre objectif étant d'étudier les conditions possibles d'une problématisation et ce malgré les limites imposées par la situation de classe qui ne laissait pas de temps de débats oraux, nous avons utilisé l'analyse épistémologique du concept de biodiversité (voir Figure 9, p.101) pour poser trois questions générales aux élèves¹⁰³ dans l'objectif d'identifier des éléments présents chez eux :

¹⁰² Des enregistrements audios et vidéos ont été réalisés pour pouvoir garder traces d'éventuels débats qui pourraient se mettre en place mais ils n'ont pas été utilisés car aucune situation de débat n'a été mise en place. Des autorisations individuelles avaient été demandées aux parents d'élèves avant le début des enregistrements. Les élèves qui n'avaient pas d'autorisations avaient été placés en dehors du champ de la caméra.

¹⁰³ Une autre question a été posée aux élèves mais n'a pas été analysée dans ce travail. Il s'agit d'une question liée à une demande du professeur qui a souhaité intégrer un document sur la crise crétacé/tertiaire ainsi qu'une question associée : « Pouvez-vous essayer de m'expliquer

- Pour identifier des éléments liés aux dimensions scientifiques de la biodiversité : « Nous allons étudier la biodiversité, pouvez-vous essayer de définir ce qu'est la biodiversité pour vous ? »¹⁰⁴
- Pour identifier des éléments liés aux dimensions sociales environnementalistes rattachées à la protection de la biodiversité : « A votre avis, quelles peuvent-être les causes de la crise actuelle de biodiversité ? »
- Pour identifier des éléments liés aux dimensions sociales liés au positionnement éthique face à la perte de biodiversité : « Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité. »

Ces trois questions ont pour objectif d'obtenir des renseignements sur les éléments susceptibles d'être mobilisés par ces élèves dans une situation de problématisation.

De manière à mieux comprendre comment ces trois dimensions, scientifique, environnementaliste et éthique pourraient interagir dans une situation de problématisation, nous avons choisi d'intégrer un exemple local lié à la construction d'une autoroute dans la ville voisine du Mans. Les élèves ont lu un document expliquant l'arrêt en 1999 de la construction d'une autoroute suite à la découverte d'une espèce d'insecte protégée le scarabée "pique-prune" (*Osmoderma eremita*). Suite à cette lecture, les élèves devaient répondre à la question :

- « L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurais-t-il fallu faire ? »

le plus précisément possible ce qui s'est passé lors de la crise crétacé/tertiaire (qui a provoqué la disparition des dinosaures) ? ».

¹⁰⁴ D'autres éléments liés aux crises biologiques intervenues à d'autres moments de l'histoire de la Terre ont aussi été abordés lors de la première séance. Ces éléments ne font pas partie des éléments analysés ici. L'annexe 5 présente ces éléments.

Cependant, face à une question de ce type, il existe un risque que les élèves ne prennent pas en charge les dimensions problématiques de la question et en reste à l'expression de réponses « de bons sentiments » consistant à vouloir protéger le pique-prune mais sans en expliquer les raisons. Pour tenter de dépasser ces possibles bons sentiments, une intervention a été réalisée par le chercheur pour conduire les élèves à défendre leur point de vue :

- « J'ai circulé dans la classe et j'ai constaté que vous êtes à peu près tous d'accord pour protéger le pique-prune. Mais c'est bien une vision de collégiens. Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien. En plus, il est moche. Alors vous pouvez changer d'avis. Sinon il va falloir que vous ayez des arguments pour défendre votre point de vue. ».

Cette intervention a été volontairement provoquante en ce centrant uniquement sur des arguments utilitaristes pour ne pas protéger un insecte. Après cette intervention, les élèves ont dû répondre à une dernière question leur demandant d'explicitier leurs arguments :

- « Quels arguments avez-vous à proposer pour défendre votre point de vue (vous pouvez changer de point de vue si vous le souhaitez) ? »

La séquence réalisée a été menée dans deux classes de troisième générale. Elle a été conduite par l'enseignant titulaire de la classe, et, en accord avec l'enseignant, le chercheur est intervenu ponctuellement à certains moments choisis. Initialement prévue sur deux séances, elle a en réalité dû être étalée sur trois séances. Cette modification du calendrier n'a malheureusement pas permis de mettre en place cette troisième séance pour les deux classes. Ainsi pour la classe de troisième M, trois séances d'1 heure ont été réalisées les 22 et 29 mai ainsi que le 5 juin 2015. Pour la classe de troisième O, deux séances ont été réalisées le 19 et

le 26 mai 2015¹⁰⁵. Le tableau 8 présente les effectifs totaux d'élèves ayant répondu pour chaque question (Tableau 8).

Tableau 8 : Présentation synthétique des questions analysées dans le cadre de la séquence forcée mise en place en classe de troisième. Pour chaque question la date de la séance est précisée ainsi que le nombre d'élèves présents (n).

Consignes/questions	3ème M	3ème O
Nous allons étudier la biodiversité, pouvez-vous essayer de définir ce qu'est la biodiversité pour vous ?	22/05/2015 n= 28	19/05/2015 n=24
A votre avis, quelles peuvent-être les causes de la crise actuelle de biodiversité ?	29/05/2015 n= 25	26/05/2015 n= 21
Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité.	29/05/2015 n= 25	26/05/2015 n= 21
L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ?	05/06/2015 n= 29	
J'ai circulé dans la classe et j'ai constaté que vous êtes à peu près tous d'accord pour protéger le pique-prune. Mais c'est bien une vision de collégiens. Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien. En plus, il est moche. Alors vous pouvez changer d'avis. Sinon il va falloir que vous ayez des arguments pour défendre votre point de vue.		
Quels arguments avez-vous à proposer pour défendre votre point de vue (vous pouvez changer de point de vue si vous le souhaitez) ?	05/06/2015 n= 29	

¹⁰⁵ Le nom des classes a été changé.

8.3. Méthodologie d'analyse des données

Pour cette étude de cas, notre analyse a été réalisée dans le cadre théorique de la problématisation et c'est donc ce cadre qui permettra de donner une signification aux différents éléments. N'ayant pas de situation de débats oraux, nous avons utilisé une approche proche de celle de Chalak qui réalise une catégorisation des types de réponses écrites des élèves dans son travail de doctorat (Chalak, 2012).

Dans un premier temps, les réponses des élèves ont été photocopiées puis saisies informatiquement en respectant la syntaxe originale. L'ensemble des réponses des élèves est disponible dans l'annexe 6. Nous avons utilisé une méthodologie se basant largement sur notre analyse épistémologique mais en intégrant des éléments issus directement des acteurs (ici les élèves)¹⁰⁶. Les catégories choisies constituent des unités de sens pouvant correspondre à des formes textuelles variées (mots, segment de phrases, phrase unique, paragraphes...) (L'Écuyer, 1990).

Pour effectuer notre catégorisation, il convient de rendre explicite le processus mis en place pour réaliser notre analyse (Miles et Huberman, 2003). Nous avons réalisé une analyse en trois temps selon une approche inductive classique en analyse de données qualitatives. (Miles et Huberman, 2003).

¹⁰⁶ Il existe différentes méthodologies de codage. On peut schématiquement distinguer trois modèles : le modèle ouvert dans lequel les catégories sont créées pendant l'analyse, le modèle fermé dans lequel les catégories sont déterminées *a priori* et enfin le modèle mixte dans lequel les catégories sont à la fois prédéterminées et induites en cours d'analyse (L'Écuyer, 1990). Au sens de cette catégorisation, nous avons donc procédé à un codage selon le modèle mixte mais ceci ne correspond qu'à la phase de codage et ne constitue pas en soi une méthodologie mixte.

Le premier temps correspond à une phase de réduction des données (Miles et Huberman, 2003). Cette réduction consiste à identifier des catégories de sens en réalisant un codage des réponses des élèves. Le codage a été réalisé selon les réponses des élèves et ne fait pas appel à la connaissance épistémologique du sujet. L'objectif est donc de réaliser une lecture la plus directe possible des réponses des élèves. En lisant les réponses des élèves, on détermine des catégories qui sont identifiées par un ou quelques mot(s) clef(s). Un exemple type de réponse d'élève est associé à chaque catégorie construite pour illustrer « l'essence même de la catégorie » (Blais et Martineau, 2006, p. 8)

Par exemple, à la question 2 (voir Tableau 8, p.170), Maté répond : « La crise actuelle de biodiversité est due à la déforestation ce qui réduit les habitations d'animaux qui vivent en forêt. Et leur territoire de chasse pour les animaux est diminué. Les herbivores ont du mal à se nourrir. La pollution provoque des maladies, détruit la nature, provoque le réchauffement climatique, fait fondre la banquise. ». Dans cet exemple, trois catégories ont été codées et identifiées par les mots « déforestation », « pollution » et « réchauffement climatique ».

Une triangulation du codage reposant sur un double codage a été réalisé par le chercheur et par une personne extérieure au projet. Cette personne est enseignante et possède un master en biologie mais n'est familière ni avec le cadre épistémologique de la biodiversité ni avec les approches de problématisation. Cette triangulation du codage réalisée a pour objectif de favoriser l'émergence possible d'éléments non perçus par le chercheur qui interprète en même temps qu'il code et peut donc ne pas percevoir des éléments trop extérieurs à son cadre d'analyse. Il s'agit donc plus ici d'assurer un enrichissement du codage et donc de l'analyse des travaux plutôt que de chercher une validation¹⁰⁷.

¹⁰⁷ La triangulation peut avoir plusieurs intérêts. D'une part, comme dans notre travail, elle peut considérer que face à l'impossibilité d'avoir des informations complètes sur un phénomène, la multiplication des points de vue permet d'enrichir le point de vue du chercheur. La triangulation favorise ainsi une compréhension plus complète. Elle peut aussi permettre de renforcer la validité d'une recherche qualitative.

Dans un second temps, une condensation des catégories a été réalisée par regroupement de ces catégories en types de réponses (Miles et Huberman, 2003). Le but visé est de créer un nombre restreint de types (entre trois et quatre) afin d'avoir une vue d'ensemble des aspects clefs qui ont été identifiés. Cette démarche permet, par condensation, une première construction du sens (Blais et Martineau, 2006). Cette étape correspond à une analyse qui se base sur la connaissance épistémologique du sujet (développée dans la première partie de ce travail et en particulier sur la grille d'analyse construite. Voir Tableau 5, p.104).

Pour reprendre l'exemple précédent de la réponse de Maté à la question 2, les trois catégories « déforestation », « pollution » et « réchauffement climatique », ont été regroupées en deux types : pollution (qui regroupe « pollution » et « réchauffement climatique ») et destruction directe (qui contient « déforestation »)

Enfin, une troisième étape consiste en l'analyse basée sur les types construits. Cette étape vise à poursuivre la construction du sens commencée précédemment : elle peut donc passer selon les questions par des comptages du nombre de réponses relevant de chaque type, par la réalisation de graphiques... De manière à vérifier les liens pouvant exister entre certains types de réponses, nous réalisons également des tableaux de contingence qui permettent de mettre en évidence l'existence d'une éventuelle dépendance entre les réponses à deux questions. Les éventuelles dépendances observées seront testées à l'aide d'un test du Chi².

Nous allons maintenant présenter l'analyse des résultats de la séquence d'enseignement de la biodiversité en classe de troisième.

9. ANALYSE DES PRODUCTIONS DES ÉLÈVES OBTENUES LORS DE L'ÉTUDE DE CAS MISE EN PLACE EN CLASSE DE TROISIÈME

Nous allons commencer par analyser les résultats obtenus pour les éléments généraux abordés par les élèves pour les dimensions scientifiques et sociales de la biodiversité. L'ensemble des réponses analysées dans cette première partie correspond à des réponses aux questions générales qui ont été recueillies au cours des deux premières séances réalisées dans les deux classes de troisième étudiées (Questions 1 à 3 dans le Tableau 8, p.170).

Dans un second temps nous analyserons les résultats obtenus dans le cadre du travail d'un exemple local de protection de la biodiversité lié à la présence d'un insecte protégé, le pique-prune, sur le tracé d'une autoroute en construction. Ce travail n'a été mené qu'avec une seule des deux classes de troisième.

Dans l'ensemble de cette partie de notre travail, les réponses des élèves seront indiquées avec la syntaxe des élèves et sans corrections orthographiques

9.1. Analyse générale sur la biodiversité

9.1.1. Dimensions scientifiques exprimées par les élèves

Le travail a été réalisé à partir des réponses des élèves à la question : « Pouvez-vous essayer de définir ce qu'est la biodiversité pour vous ? ». Le codage réalisé a permis d'identifier 5 catégories caractérisées par des mots clefs et un exemple de réponse d'élève caractéristique de cette catégorie (Tableau 9). Ces catégories ont été regroupées en 4 types synthétiques selon les catégories déterminées lors de l'analyse épistémologique (voir Tableau 5, p.104).

Ce travail de catégorisation a permis de dénombrer le nombre d'élèves qui présentent des éléments de réponse pour chacune des catégories. Au total, les réponses de 48 élèves ont pu être catégorisées. 38 élèves ne donnent qu'un seul élément catégorisable, 8 proposent une définition qui se réfère à deux catégories et 2 à trois catégories.

Tableau 9 : Codage de la question : « Nous allons étudier la biodiversité, pouvez-vous essayer de définir ce qu'est la biodiversité pour vous ? »

Catégories issues du double codage	Exemples d'extraits de réponse d'élèves pour cette catégorie (avec l'orthographe des élèves)	Types synthétiques retenus pour l'analyse	Effectifs
Phase de réduction des données		Phase de condensation	
Faune et flore	la biodiversité : c'est les différents animaux et différentes plantes	Inventaire d'espèces ou de groupes	35
Espèces	c'est la diversité des espèce		
Ecologie scientifique	c'est la diversité [...] de leur habitat	Écologie scientifique	9
Evolution histoire	Au cours des temps, des espèces sont apparues et d'autres ont disparues.	Théorie de l'évolution	8
Protection	La biodiversité évoque pour moi et de préserver les milieux de vie comme les parcs national, de sauver des races anciennes de l'extinction etc... Ne pas faire la déforestation, garder les lieux naturels, ne pas tué d'espèces d'animaux	Protection de la biodiversité	8

Il ressort de cette analyse la forte présence des éléments liés à la diversité des espèces ou de la faune et de la flore (Tableau 9). Voici quelques exemples de réponses :

- Benjy : « La biodiversité, c'est tout les différentes espèces d'êtres vivants présents sur terre. »
- Jeane : « La biodiversité est donc la diversité, la pluralité des espèces. »
- Mac : « la diversité des êtres vivants qui sont sur Terre : animaux, plantes. »
- Maelys : « la biodiversité c'est les différents êtres vivants qui existe dans la nature. »

Cette vision est aussi souvent la seule vision présentée. Ainsi, sur les 35 élèves qui se réfèrent à cette diversité des espèces, 28 (soit 80%) n'indiquent aucun autre élément. Si on compare

ces résultats avec les résultats d'un sondage de 2015 portant sur la biodiversité et réalisé sur un échantillon de plus de 2000 adultes¹⁰⁸, on constate une grande similitude. En effet, à la question : « Quels sont les mots ou expressions qui vous viennent à l'esprit lorsqu'on vous parle de biodiversité ? » les quatre mots qui reviennent le plus dans ce sondage sont : la nature, la faune, la flore, la diversité (CREDOC, 2015, voir Annexe 7). Bien que le contexte et la question soit différents¹⁰⁹, il semble bien que ces éléments soient assez spontanément mobilisés et ils pourraient être considérés comme proches d'une vision naïve de sens commun. Quelques élèves mobilisent un seul aspect lié à la protection de la nature (n=4), à l'écologie (n=3) et à la théorie de l'évolution (n=3).

En contraste avec ces réponses simples, 10 élèves vont mobiliser en plus de cette vision de sens commun, d'autres dimensions. Ils présentent donc une définition plurielle de la biodiversité qui intègre des dimensions descriptives mais aussi des aspects évolutifs ou de protection de la biodiversité, proposant ainsi une définition composée de plus d'un élément. Ceci peut être vu dans les deux exemples suivants¹¹⁰ :

- Benoit : « Pour moi la biodiversité est la nature. C'est la diversité des espèces, de leurs gènes mais aussi de la variété de leur habitat. Des espèces apparaissent au cours du temps et d'autres disparaissent. ». Jérôme : « c'est la diversité des espèces, de leur habitats et de leur gènes. Au cours des temps, des espèces sont apparues et d'autres ont disparues. ». Benoit et Jérôme proposent une

¹⁰⁸ L'enquête a été réalisée en « face à face », au début 2013, auprès d'un échantillon représentatif de 2 009 personnes, âgées de 18 ans et plus, sélectionnées selon la méthode des quotas (CREDOC, 2015).

¹⁰⁹ On pourrait aussi discuter à quel point ces questions sont productives. Mais il ne s'agit pas de considérer ici l'intérêt ou la pertinence des questions posées mais d'utiliser les résultats de ce sondage pour mieux analyser les réponses obtenues.

¹¹⁰ L'orthographe est celle des élèves

définition à trois niveaux de la biodiversité (correspondant à une vision de la biodiversité génétique, spécifique et écosystémique). Ils associent à cela l'existence d'une histoire de cette biodiversité qui est liée à l'apparition et à la disparition d'espèces au cours du temps.

- Antoine : « c'est le développement et l'évolution des plantes et des espèces vivantes sur terre qu'il faut protéger car il y a un risque d'extinction ». Antoine présente aussi une notion d'évolution du vivant mais il associe également la biodiversité aux menaces d'extinction.

Au final, cette étude de cas semble donc montrer l'existence, chez une majorité d'élèves, d'une vision de sens commun basée sur l'idée d'une collection d'êtres vivants. Par contraste, un groupe d'élèves mobilise plusieurs dimensions (évolution, protection de la biodiversité...) pour expliquer ce qu'est la biodiversité.

9.1.2. Dimensions sociales exprimées par les élèves

Les aspects sociaux ont été abordés à travers deux questions. Une question portant sur la perte de biodiversité « A votre avis, quelles peuvent-être les causes de la crise actuelle de biodiversité ? » et une question centrée sur les aspects éthiques de cette perte « Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité. ». Ces questions ont été posées après analyse d'un document présentant les menaces sur la biodiversité¹¹¹ (Figure 20).

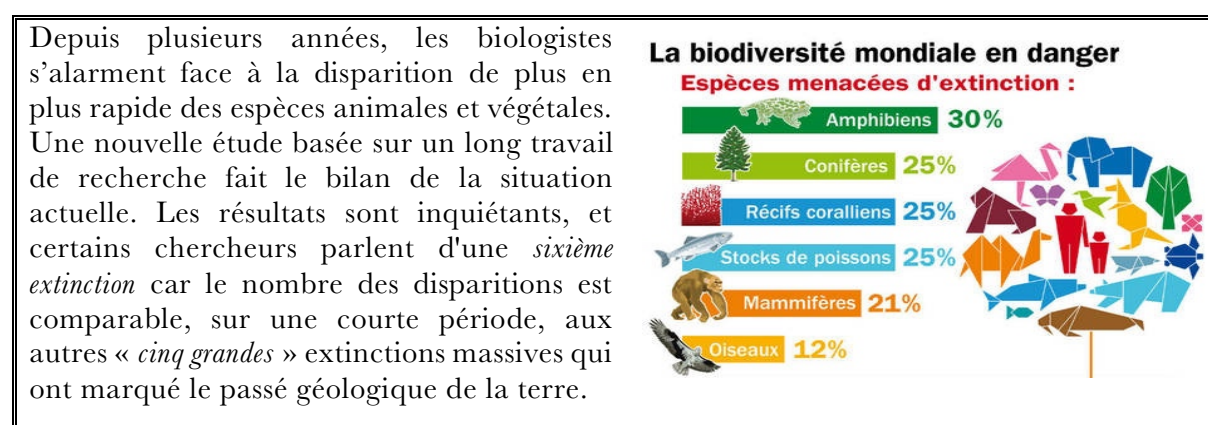


Figure 20 : Document distribué aux élèves avant de poser la question des causes possibles de la perte actuelle de biodiversité

¹¹¹ De plus, les élèves ont travaillé la semaine précédente sur les grandes crises biologiques et leurs causes et sont arrivés à la conclusion que « Les grandes crises de biodiversité sont provoquées par des événements géologiques majeurs comme la chute de météorites ou des éruptions volcaniques exceptionnelles. »

Nous allons analyser les réponses des élèves sur ces questions des causes de la perte de biodiversité et sur les positionnements éthiques associés.

CAUSES DE LA PERTE ACTUELLE DE BIODIVERSITÉ

Le codage de la question « A votre avis, quelles peuvent-être les causes de la crise actuelle de biodiversité ? » a permis d'identifier 9 catégories (Tableau 10). Dans un second temps, ces catégories ont été regroupées selon quatre types correspondant à des unités de sens.

La destruction directe est la première catégorie (49 élèves). Ce type regroupe l'ensemble des atteintes directes aux êtres vivants : chasse, pêche et déforestations. La perturbation des chaînes alimentaires est aussi intégrée car elle est présentée comme une conséquence directe de la chasse et de la pêche.

La pollution est aussi fréquemment évoquée (47 élèves). Elle est présentée directement ou en lien avec les usines et l'industrie. 15 élèves évoquent aussi le réchauffement climatique souvent associé à la pollution. Délila indique « [...] polluons toujours + ce qui induit des changements climatiques et des changements de biodiversité ». Léonard : « Les espèces sont en voie d'extinction à cause de la pollution, du réchauffement de la terre ». Maté « La pollution provoque des maladies, détruit la nature, provoque le réchauffement ».

Enfin, le développement humain est aussi évoqué (25 élèves). Ceci recouvre essentiellement deux dimensions :

- Le développement spatial humain. On retrouve ici l'impact de l'urbanisation (par exemple : Jeane « [...] l'urbanisation qui empiète sur l'espace de vie des animaux. ») et le besoin d'espace pour l'Homme (par exemple : Suan-le « Les hommes ont besoins de plus en plus d'espace donc abatent des arbres [...] »).
- L'augmentation de la population et ces conséquences illustrés par exemple par Annabelle « Il y a de plus en plus d'Hommes sur terre qui ont besoin de se nourrir ».

Il ressort plus généralement que les élèves associent la crise actuelle de biodiversité à l'action directe ou indirecte des sociétés humaines et les causes naturelles ne sont que très peu évoquées.

Tableau 10 : Codage de la question : A votre avis, quelles peuvent-être les causes de la crise actuelle de biodiversité ?

Catégories issues du double codage	Exemples d'extraits de réponse d'élèves pour cette catégorie (avec l'orthographe des élèves)	Types synthétiques retenus pour l'analyse	Effectifs
Phase de réduction des données		Phase de condensation	
Pollution	Les espèces disparaissent a cause des poluton	Pollution	26
Usines/industries	L'homme polut avec des usines		6
Réchauffement climatique	Elle diminue a cause du réchauffement climatique les glaciers fondes et a cause du gaz a effet de serre		15
Développement humain	là cause de l'être humain qui empiète sur la nature	Développement humain (essentiellement occupation des espaces et augmentation de la population)	20
Nombre d'hommes sur Terre	Les êtres humains augmente de jour en jour		5
Chasse, pêche	Les animaux disparaissent à causes des humains qui les tues.	Destruction directe	21
Déforestation	La crise actuelle de biodiversité est due à la déforestation ce qui réduit les habitations d'animaux qui vivent en forêt.		22
Perturbation de la chaine alimentaire	De plus, la chaine alimentaire est réduite		6
Causes naturelles	ais la nature est aussi responsable (évènement biologique)	Causes naturelles	3

POSITIONNEMENT ÉTHIQUE

Le codage de la question « Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité. ? » a permis de déterminer 8 catégories qui ont été regroupées, dans un second temps, selon quatre grands types correspondant à des unités de sens (Tableau 11). La gravité est très majoritairement reconnue par les élèves. Celle-ci est très largement présentée comme une gravité liée à la destruction directe des êtres vivants (Figure 21, p.182).

Tableau 11 : Catégories de réponses pour la question : Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité ?

Catégories issues du double codage Phase de réduction des données	Exemples d'extraits de réponse d'élèves pour cette catégorie (avec l'orthographe des élèves)	Types synthétiques retenus pour l'analyse Phase de condensation	Effectifs
Pas grave	Je pense que ces pas grave car on a déjà connu sa dans le passe	Pas grave	3
Disparition des plantes	Il n'y auras plus de plante	Disparition des plantes/animaux, de la vie	15
Disparition des Animaux	Provoque la disparition d'animaux c'est encore plus grave		22
Disparition des Espèces	Il n'y aurra plus d'espèces dans ce monde		10
Disparition de la vie sur terre	Il faut protéger la biodiversité car sans la biodiversité il n'y a plus de vie sur terre.		11
Perturbation des chaines alimentaires	Cela modifierait toute la chaine alimentaire		13
Disparition des aliments, ressources ou oxygène	Oui c'est grave parce qu'après y a plus de matières premières	Ressources pour l'Homme	20
Pollution, réchauffement climatique	il faudrait faire attention face à la pollution, informer les gens sur les risques encourus. Réduire les émissions de CO2	Pollution	10

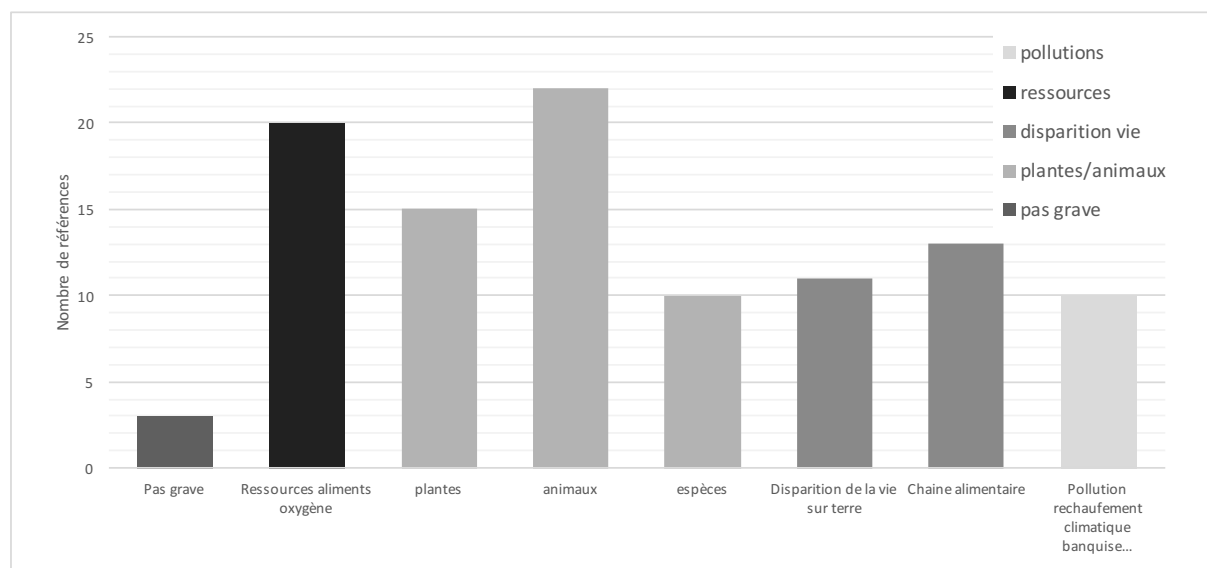


Figure 21 : Causes de la crise actuelle de biodiversité selon les élèves

Les réponses liées aux intérêts humains semblent minoritaires. Cependant, cette première impression est trompeuse car quand on étudie plus finement les réponses, il arrive souvent que les destructions directes ne soient présentées que comme un élément conduisant à des effets pour l'Homme. Voici quelques exemples de réponses de ce type :

- Helena : « Pour moi c'est grave car si la biodiversité diminue, se qui veut dire qu'il n'y aura plus de végétaux...Il faudrait la protéger car c'est elle en quelque sorte qui nous nourrit. »
- Jeane : « Cette crise de biodiversité est très importante, car si cela continue, la majorité des espèces vont disparaître et les espèces vont s'éteindre. Il ne restera que l'espèce humaine et si une telle situation se produit, nous ne pourrons plus vivre ».
- Kylie : « Oui je pense que c'est grave car si on détruit toute les forets arbres d'une part ça tue les animaux, ça pollue et les arbres sont essentiel à la vie. Faudrais protéger la biodiversité car c'est essentiel à la survie humaine ».

On constate que pour ces élèves, il semble exister un enchainement logique qui consiste à évoquer la destruction des animaux et des plantes pour expliquer les conséquences pour

l'Homme. Ainsi, si on cherche à mettre en évidence le positionnement anthropocentré ou non des élèves, il faut déterminer quel est le principal argument utilisé par les élèves. Nous avons donc codé une nouvelle fois chaque réponse en essayant de déterminer si le principal argument avancé était ou non lié aux intérêts humains. Si on analyse les données ainsi, on constate qu'environ les 2/3 des élèves ($n=28$) proposent une justification liée aux intérêts humains qui peut donc être considérée comme anthropocentrique puisque la gravité de la disparition de la biodiversité serait liée à ces effets pour l'Homme. D'un autre côté, 1/3 parlent des intérêts pour la nature ($n=17$) et pourraient être rapprochés d'un point de vue bio/écocentrique.

A l'issue de l'analyse des réponses des élèves sur les dimensions scientifiques et sociales de la biodiversité, on peut se demander s'il existe des liens entre ces éléments. Nous allons aborder ces liens dans la partie suivante.

9.1.3. Analyse des liens entre savoirs scientifiques et positionnement éthique

A l'issue de cette première phase d'analyse, nous avons montré que les représentations des élèves à propos de la définition de la biodiversité sont majoritairement séparées entre une vision naïve fréquente et une vision plurielle plus rare qui mobilise plusieurs dimensions (évolution, protection de la biodiversité...) pour expliquer ce qu'est la biodiversité. Cette constatation, associée à celle de l'existence de justifications anthropocentrées ou bio/écocentrées, nous a amenés à nous demander si des liens pouvaient exister entre définition de la biodiversité et justification de sa protection (Tableau 12). Nous avons testé à l'aide d'un test du χ^2 si ces deux éléments semblaient ou non indépendants et nous avons obtenu un résultat significatif ($\chi^2 = 4,08$, $p=0,04$) indiquant que ces deux éléments ne sont pas indépendants. En fait, ces résultats pourraient montrer l'existence d'un lien entre le type de positionnement éthique et les définitions données. Les élèves qui présentent une définition de la biodiversité naïve seraient plus dans un positionnement anthropocentrique alors que ceux qui ont une définition plurielle seraient plus dans des approches bio/écocentrées.

Ce lien doit être interprété avec beaucoup de prudence car le jeu de données est de petite taille et le test peu significatif. Ainsi, il suffit qu'un positionnement d'élève ait été mal interprété, ou influencé par la réponse d'un autre élève... pour que le test ne soit plus significatif. De plus, si le χ^2 tendait à indiquer l'existence possible d'un lien entre connaissances scientifiques des élèves et positionnement éthique, il ne dit rien des relations de causalité.

Tableau 12 : Tableau de croisement des définitions scientifiques et des raisons de protéger la biodiversité. Dans chaque case sont indiquées les valeurs mesurées ainsi que la valeur théorique en cas d'indépendance qui est notée entre parenthèses.

		Définition scientifique de la biodiversité	
		Naïve	Plurielle
Positionnement éthique sur l'importance de protéger la biodiversité	Anthropocentré	17 (15)	2 (4)
	Bio/écocentré	7 (9)	5 (3)

Nous allons maintenant passer à l'étude du traitement réalisé par les élèves de l'exemple local liés à la présence d'un insecte protégé sur le tracé de construction d'une autoroute.

9.2. Analyse de l'exemple local du « pique-prune »

Cette étude d'un exemple local n'a pu être menée que dans l'une des deux classes. L'effectif total est donc de 29 élèves. Notre objectif ici est de voir les tensions qui peuvent apparaître chez les élèves face à une situation où un positionnement est nécessaire. Nous avons utilisé une situation locale qui s'est passée en 1999 au Mans (Figure 22).

Le scarabée mange-bitu...

Le scarabée mange-bitume. La construction de l'autoroute A28 entre Tours et Le Mans est stoppée: un insecte protégé habite les arbres de la contrée.

Lors de la construction de la section Le-Mans sud - Tours a été découverte une espèce rare de scarabée, appelée le scarabée "pique-prune" (*Osmoderma eremita*), vivant dans les souches des chênes présents dans la forêt de Bercé. Cette espèce rarissime est protégée notamment par la convention internationale de Berne et la directive européenne Habitat de juin 1992.

Débarque alors sur le terrain le spécialiste français du pique-prune, le professeur Jean-Marie Luce. Sa mission : sauver le scarabée. Après quelques semaines passées à arpenter la région, ses conclusions sont sans appel : le tracé de l'autoroute induit l'abattage de six arbres dont les cavités contiennent des pique-prunes et le bitumage du sol détruit l'habitat du pique-prune et menace de fait sa vie. Désormais, tous les abattages d'arbres seront soumis à l'autorisation du Pr Luce. Sans attendre, Cofiroute, le concessionnaire de l'autoroute, a rappelé tous ses engins de chantier.

Quant aux agriculteurs, dans l'attente du remembrement espéré et gelé, ils perdent patience. Mardi dernier, 250 à 300 agriculteurs ont défilé dans le centre-ville du Mans sur leurs tracteurs. «Ils ont allumé un bûcher sur la place de la Préfecture et brûlé mon effigie en place publique», rigole Jean-Marie Luce, à moitié scandalisé.





Figure 22 : Document utilisé pour présenter l'exemple du pique-prune.

Pour la question « L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ? » 29 élèves sur 29 proposent des solutions visant à protéger les scarabées. Parmi ces solutions, c'est essentiellement un changement du tracé et un arrêt provisoire ou définitif qui sont envisagés (Tableau 13). Seuls 5 élèves proposent de déplacer les insectes.

Tableau 13 : Catégories de réponses pour la question : L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ?

Catégories issues du double codage	Exemples d'extraits de réponse d'élèves pour cette catégorie (avec l'orthographe des élèves)	Types synthétiques retenus pour l'analyse	Effectifs
Phase de réduction des données		Phase de condensation	
Déplacer insecte	Je pense qu'il aurait fallu déplacer les piques-prunes dans une autre forêt pour pouvoir continuer la construction car sinon on aurait tuer les piques-prunes et si les travaux restent à l'arrêt, l'industrie perd de l'argent	Déplacer les insectes	5
Arrêt temporaire construction	Il aurait fallu bloquer l'autoroute pendant un certains temps pour chercher ou se trouvait les nids de ces scarabés et les placés dans une refuge.	Arrêt de la construction	9
Arrêt d'une durée indéterminé/ déplacement complet de l'autoroute	Je pense que l'arrêt de la construction de l'autoroute est la meilleure solution [...]		
Contournement / déviation	Il aurait fallu détourné l'autoroute pour que les piques prunes puissent vivre dans leurs arbres. Comme ça, l'autoroute est construite et le pique prune reste dans son habitat naturel.	Contournement déviation	16

Pour générer une justification argumentée de ce point de vue, nous avons choisi de réaliser une intervention visant à favoriser la prise de position argumentative des élèves. Cette

intervention était : « J'ai circulé dans la classe et j'ai constaté que vous êtes à peu près tous d'accord pour protéger le pique-prune. Mais c'est bien une vision de collégiens. Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien. En plus, il est moche. Alors vous pouvez changer d'avis. Sinon il va falloir que vous ayez des arguments pour défendre votre point de vue. ».

Cette intervention réalisée par le chercheur visait à susciter une réflexion sur d'autres arguments que ceux de l'utilité directe pour l'Homme. Les réponses des élèves ont été codées et le résultat obtenu et nous avons déterminé quatre types synthétique (Tableau 14).

Tableau 14 : Arguments des élèves pour justifier la protection de l'insecte malgré le coût pour l'Homme.

Catégories issues du double codage	Exemples d'extraits de réponse d'élèves pour cette catégorie (avec l'orthographe des élèves)	Types synthétiques retenus pour l'analyse	Effectifs
Phase de réduction des données		Phase de condensation	
Il doit bien servir à quelque chose	Je m'oppose à ce qu'on les détruisent car ils peuvent servir à faire des tests en laboratoire et peut-être contribuer aux avancées scientifiques	anthropocentrique au sens où la protection de l'insecte est subordonnée à une utilité	12
Plus tard il servira bien à quelque chose	Je m'oppose à l'argument comme quoi ces insectes ne servent à rien car notre science évolue de jour en jour et nous ne savons pas à quoi ils peuvent servir plus tard.		
L'Homme n'a pas à décider de détruire une espèce	Pourquoi on ne pourrait pas les tuer car je pense qu'on a pas le droit que personne n'a le droit d'éteindre comme ça voilà pourquoi on ne pourrait pas les tuer	Bio/écocentrique au sens où l'Homme a des devoirs moraux vis-à-vis de cet insecte	9
Droits de vivre	Je ne veux pas défendre l'avis de les tuer en disant que cela ne serait rien et qu'on ne payera juste une amende car c'est une espèce vivante et elle a le droit de vivre		
Espèce protégée	Tuer les insectes -> pas de respect de la loi européenne -> Tuer des êtres vivants-> Tuer des êtres vivants protégé	Protection	2
Espèce sans importance	L'argument que je ne veux pas défendre est de les garder car appartient à nos routes et manger nos bitumes ils ne sont pas d'une grande importance.	Destruction	1

Le type le plus fréquent (12 élèves) correspond à des réponses d'élèves qui considèrent que l'insecte a une utilité. Les réponses des élèves se centrent sur l'utilité (non connue) de cet insecte ou sur son utilité future et cette justification rejoint le point de vue développé dans le cadre des systèmes écosystémiques et a donc été reliée au type anthropocentré (voir Positionnements éthiques et services écosystémiques, p.91). La présence majoritaire de ce type anthropocentré est paradoxale car dans l'intervention réalisée, il est bien précisé que cet insecte ne « sert à rien ». En fait, l'importance pour l'Homme est justifiée de deux manières par les élèves : soit en considérant que cet insecte doit bien servir à quelque chose, soit en considérant qu'il sera peut-être utile plus tard.

Le type bio/écocentrique est présent chez 9 élèves qui défendent la protection des insectes sans que ceci soit lié à une utilité de ceux-ci. Ces élèves mettent beaucoup en avant la notion de droit moral à décider de l'extinction d'une espèce. Par exemple Benjy affirme que « de toute façon, une espèce n'a pas à décider de l'extinction d'une autre. »

Enfin, 2 élèves évoquent la protection européenne de l'espèce pour justifier sa sauvegarde et un élève considère qu'on peut détruire cet insecte.

On retrouve ici une grande majorité d'élèves qui se situent dans des approches anthropocentrées (au sens de l'utilité de cet insecte) ou bio/écocentrées (au sens du droit moral pour justifier de la protection d'un insecte).

9.3. Bilan de l'étude de cas sur les conditions d'apprentissage des élèves

L'analyse que nous avons menée dans le cadre d'une étude de cas en classe de troisième nous a permis de montrer l'existence chez beaucoup d'élèves d'une vision naïve de ce qu'est la biodiversité. De plus, si les élèves semblent conscients de l'impact de l'Homme sur la perte actuelle de biodiversité, ils justifient majoritairement sa protection par des arguments anthropocentriques.

Nous avons également analysé les réponses des élèves dans le cadre d'un exemple local lié à la présence d'un insecte protégé sur le tracé d'une autoroute en construction. L'analyse des réponses montre que presque tous les élèves souhaitent protéger l'insecte. La justification de cette protection est majoritairement liée à l'utilité du pique-prune et en ce sens correspond à une approche anthropocentrée mais les positionnements bio/écocentrés sont aussi présents et mettent de l'avant des considérations morales sur le droit que l'Homme a de décider de la disparition d'une espèce.

Dans le cadre de cette étude de cas, nous n'avons pas mis en place un enseignement problématisé de la biodiversité à proprement parler. Nous nous situons en amont en cherchant à mettre en évidence des éléments permettant de penser une possible problématisation de la notion de biodiversité. En ce sens, nous allons maintenant chercher à construire un modèle général issu de notre analyse. Nous allons utiliser un espace de contraintes qui permet une mise en ordre des différents éléments problématisant. Nous allons présenter ce qu'est un espace de contrainte avant de tenter d'en construire un correspondant à notre analyse et d'en discuter les possibles implications.

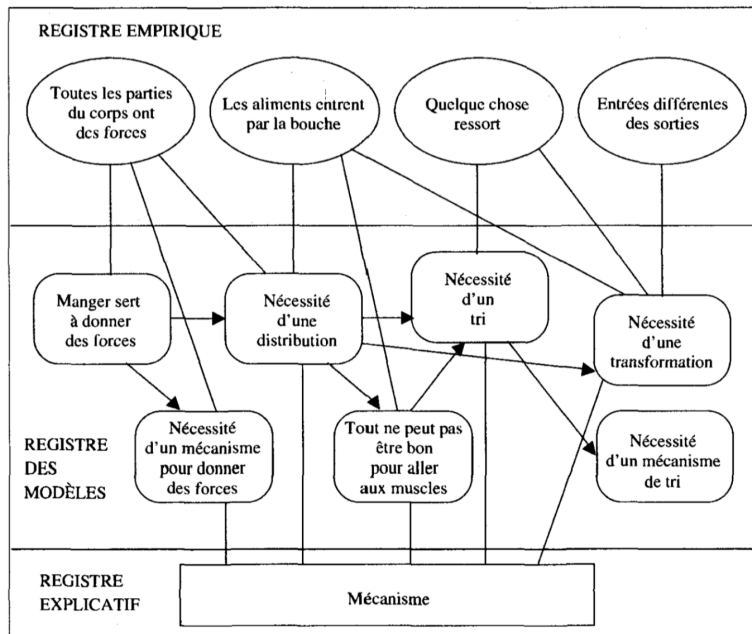
9.3.1. Présentation des espaces de contraintes

Le terme « contrainte » se réfère aux contraintes empiriques déterminantes pour un problème et aux contraintes sur les modèles. Un espace de contraintes « [...] tente de représenter, par un réseau de raisons, certains aspects de ce qu'est pour nous la problématisation : la

construction de nécessités, qui sont des conditions de possibilité des solutions. » (Orange, 2000, p.36).

L'espace de contraintes est donc une représentation graphique qui cherche à donner à voir le sens que peut porter le cas étudié¹¹². La représentation graphique présente les relations entre

¹¹² Dans son article de 2000, Orange propose un exemple de ce type d'espace de contraintes réalisé dans le cadre d'un travail sur la digestion réalisé dans une classe de CM1-CM2. (Reproduit d'après Orange, 2000, p.88).



Cet espace de contraintes montre la mise en tension des éléments du registre empirique avec les nécessités construites dans le cadre d'une séance de débat sur la nutrition réalisée dans une classe de CM1-CM2.

les contraintes liées au registre empirique et les nécessités qui se construisent au sein du registre des modèles¹¹³.

Ces espaces de contraintes sont construits à travers le crible épistémologique du chercheur, qui va réaliser l'interprétation du statut de contrainte ou de nécessité des éléments identifiés comme important dans la construction du problème en jeu. Il ne s'agit pas d'une représentation du déroulement chronologique mais plutôt des relations logiques et c'est pour cela que les liaisons entre registre empirique et registre des modèles ne sont pas orientées (Orange, 2000, p.36).

Dans le cadre de notre étude exploratoire, nous allons tenter de construire un premier espace de contraintes permettant de représenter la problématisation possible (construit par le chercheur) dans le cadre de l'étude d'un exemple réalisé avec les insectes. Nous présenterons dans un second temps l'espace de contraintes construit avec les réponses des élèves.

9.3.2. Construction d'un espace de contraintes de notre étude de cas

Dans le cadre de notre étude exploratoire, nous allons tenter de construire un premier espace de contraintes (celui du chercheur) pour aborder la construction des savoirs dans le cadre de l'exemple mis en place avec le pique-prune. Dans notre situation, la construction du savoir

¹¹³ Ces espaces de contraintes ont aussi une volonté de constituer un modèle de la problématisation qui soit plus large que l'étude de cas considérée. « Nous faisons aussi l'hypothèse que cet espace a une valeur qui dépasse le cas étudié. D'une part, car il gomme l'aspect chronologique de ce débat particulier au profit des relations logiques. D'autre part parce que, selon le principe de toute étude qualitative, nous pensons que ce cas fait sens. Et enfin parce que tout ou partie de cet espace se retrouve dans d'autres débats sur ce sujet, avec des élèves d'âge comparable. » (Orange, 2000, p.72)

passé largement par la réflexion posée sur les actions possibles dans cette situation. Nous avons donc ajouté les actions possibles comme solutions envisageables en réponse aux nécessités construites (Figure 23, p.194). Les éléments du registre empirique proviennent essentiellement des informations disponibles dans le document présentant la situation (Figure 20, p.178) et sur les éléments issus de l'intervention « Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien ».

Dans la structure d'un espace de contraintes, la construction de liens entre les éléments du registre empirique et ceux du registre des modèles se fait dans un cadre. Pour les problèmes explicatifs du type de ceux traités initialement par Orange (2000), le registre explicatif est le cadre dans lequel les tensions entre contraintes et nécessités s'articulent lors du travail des problèmes explicatifs. La définition de ce registre explicatif n'est pourtant pas simple. En effet, il est constitué d'éléments rationnels mais aussi de croyances, de raisonnements de sens commun, d'habitudes... et se rapproche du cadre épistémique développé par Piaget et Garcia (1983). De plus, il existe des problèmes qui ne sont pas d'ordre explicatif¹¹⁴. Pour toutes ces raisons, il semble plus prudent de considérer que les problèmes qui se construisent dans le cadre de la biodiversité le font par rapport au cadre épistémique (Hersant, 2016).

Ce cadre épistémique est une condition de possibilités pour construire une problématisation scientifique mais il possède des principes structurants qui servent aussi à mettre en place une problématisation généralisante et abstractive (Orange Ravachol et Beorchia, 2011). De plus,

¹¹⁴ Orange (2016) indique que, comme il est possible de schématiser des problématisations techniques (par exemple des enquêtes de Sherlock Holmes) et des problématisations scientifiques à peu près de la même manière (notamment avec des espaces de contraintes), il existe un risque de confusion entre ces deux types de problématisations.

si ce cadre épistémique peut parfois être considéré comme stable au cours du travail didactique de quelques semaines, il doit forcément évoluer au cours du parcours scolaire¹¹⁵. Cependant, la caractérisation et l'évolution du cadre épistémique restent des questions au travail dans le cadre de la problématisation des savoirs comme en témoigne le titre du colloque Probléma de 2016 « Cadres et problématisation : le jeu des cadres épistémiques, psychosociologiques, etc. dans l'accès à des savoirs problématisés à l'école et en formation » (11-14 mai 2016 - Université de Lille 3). Pour construire notre espace de contraintes, nous avons utilisé notre analyse épistémologique pour chercher ce qui pouvait faire cadre à la mise en place d'une problématisation (Figure 23). Nous avons retenu l'appui sur des éthiques anthropocentrées ou bio/écocentrées dans le sens où nous avons vu qu'elles influencent fortement la réflexion sur les mesures à mettre en place face à un cas de protection de la biodiversité. Le cadre anthropocentré conduit à fonder la problématisation sur la construction de nécessités qui ont un intérêt pour l'Homme alors que le cadre bio/écocentré « inverse la charge de la preuve » puisque le vivant doit être respecté et c'est à l'Homme de montrer en quoi un projet est indispensable (voir Positionnements éthiques et services écosystémiques, p.91).

¹¹⁵ Ainsi, le cadre épistémique basé sur une vision animiste très présent chez les jeunes enfants (l'animisme enfantin) va laisser place à une vision plus mécaniste du vivant (Grancher, 2016). Cette nécessité se retrouve particulièrement présente dans le cas des approches évolutives qui sont liées à certaines visions de la biodiversité (Gobert, 2014). Les travaux en didactique des sciences ont montré les difficultés pour les élèves à s'engager dans une problématisation de l'évolution car ceux-ci ont tendance à utiliser un cadre épistémique centré sur une pensée typologique qui se base sur l'individu ou l'espèce en tant que type (Gobert, 2014; Lhoste, 2008). Une entrée dans une problématisation évolutionniste nécessite au contraire un changement du cadre épistémique pour raisonner dans un « cadre néodarwinien de type probabiliste, nouveau et en rupture avec celui que les élèves [et de nombreux enseignants] mobilisent spontanément. » (Gobert, 2014, p.11). Problématiser l'enseignement de la biodiversité conduit donc à poser la question de l'évolution possible du cadre épistémique. Gobert (2014, p.306) à travers l'analyse de corpus oraux enregistrés dans de le cadre d'enseignements de la théorie de l'évolution, indique « qu'il est nécessaire que l'enseignant accompagne les élèves dans la construction d'un contexte interprétatif [...] » et souligne « le rôle déterminant des interventions [...] dans les processus d'apprentissage des élèves [...] ».

Nous avons identifié deux nécessités qui sont en tension : celle de protéger l'insecte (nécessité dans le cadre bio/écocentré) et celle de finir la route (nécessité dans le cadre anthropocentré). Ces nécessités en tension conduisent à des types d'actions différentes. Nous allons maintenant présenter l'espace de contrainte construit à partir des réponses des élèves.

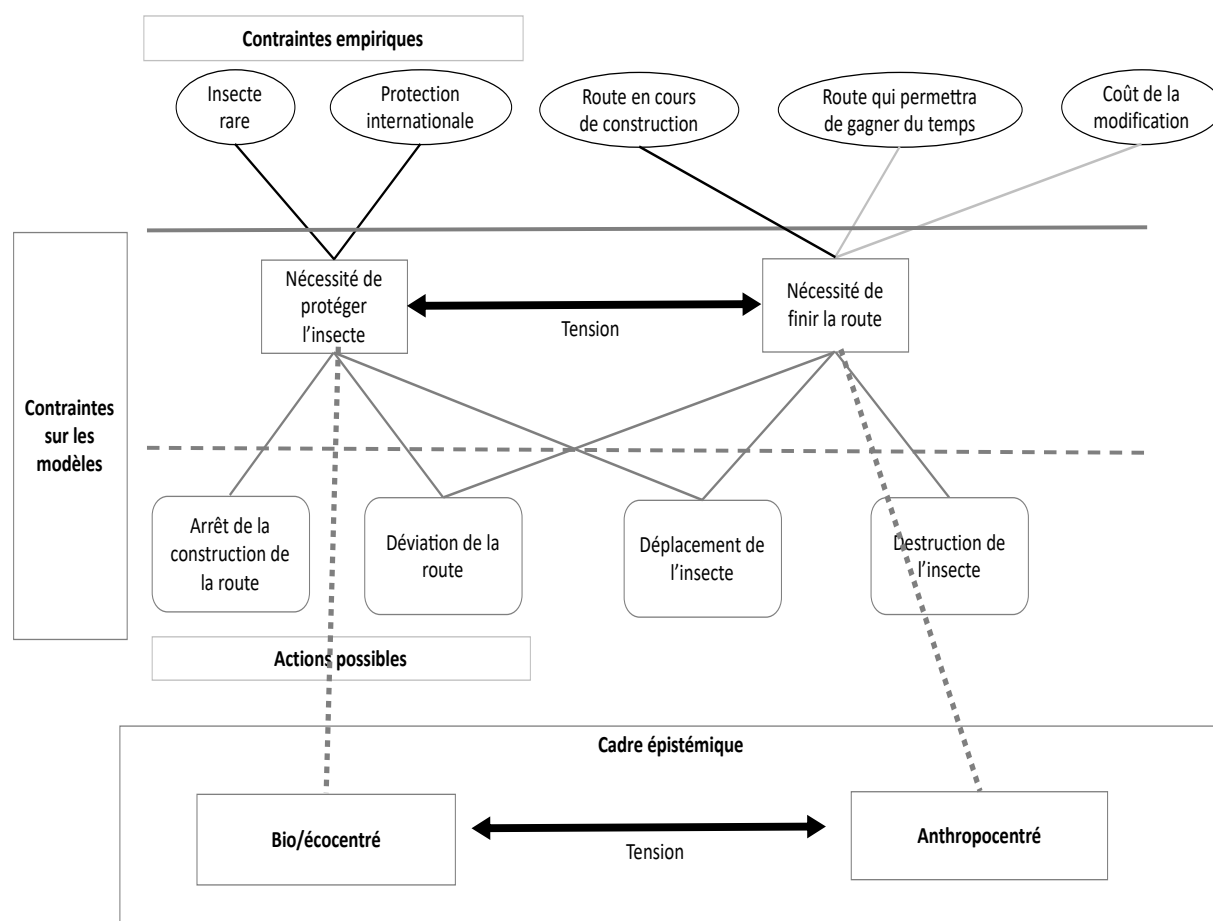


Figure 23 : Espace de contraintes théorique de l'étude de cas proposée. La figure représente l'espace de contrainte produit à partir de la question : « L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ? » complété par les éléments apportés suite à l'intervention « Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien ». (voir texte pour plus de détails)

9.3.3. Construction d'un espace de contraintes des élèves en classe de troisième

Nous avons cherché à construire l'espace de contraintes correspondant aux réponses des élèves (Figure 24). Initialement, les élèves mobilisent trois types de contraintes empiriques à savoir la rareté, la protection de l'insecte et le fait que la route soit en cours de construction. Lors de l'intervention du chercheur, plusieurs éléments viennent s'ajouter aux contraintes empiriques notamment lorsqu'il affirme : « Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien ». L'analyse des réponses des élèves montre que les élèves ne vont pas intégrer les contraintes empiriques liées à cette intervention (Importance de la route et coût d'une modification) pour modifier le type d'actions envisageables.

Les élèves vont en effet développer des éléments explicatifs nouveaux pour maintenir une priorité à la nécessité de protéger l'insecte (voir Tableau 14, p.187). Nous considérons que ces éléments constituent des nécessités construites face à l'intervention du chercheur.

Cette construction de nécessités nous semble révéler d'autres choses que ce qui se produit habituellement dans la cadre de la problématisation des savoirs scientifiques. Face à une intervention extérieure insistant sur la nécessité de finir la route et sur l'inutilité de l'insecte, les élèves ont construit de nouvelles nécessités (nécessités secondaires) permettant de maintenir la priorité allouée à la nécessité de protéger l'insecte. Ces nécessités que nous n'avions pas identifiées dans notre espace de contraintes théorique (voir Figure 24, p.194) ont été indiquées par une flèche sur le schéma de l'espace de contraintes produit (figure 25). Elles sont essentiellement de deux types : l'insecte doit être utile (malgré le fait que le chercheur ait dit le contraire) et l'Homme n'a pas le droit moral de décider de la disparition d'une espèce.

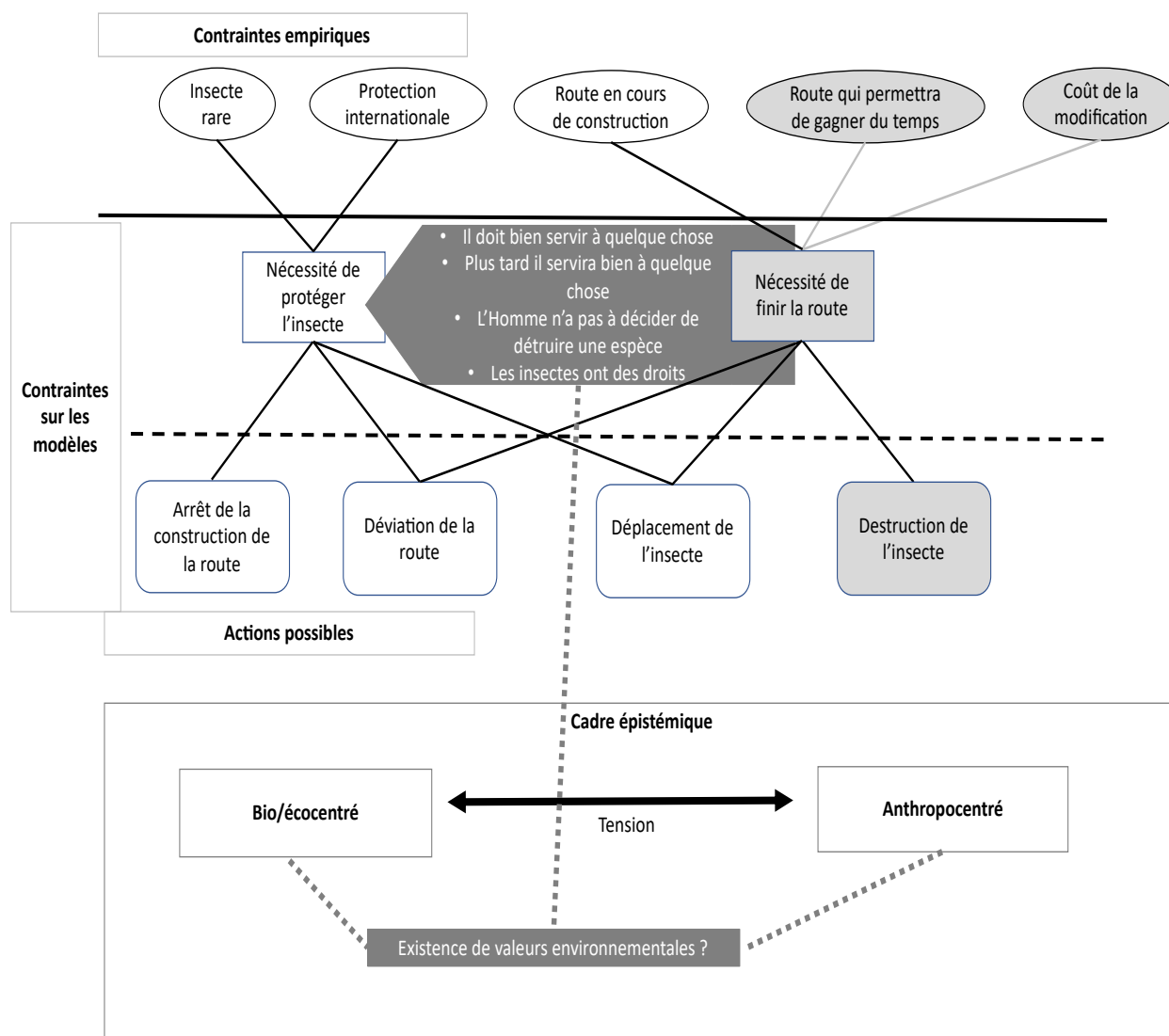


Figure 24 : Espace de contraintes construit à partir des réponses des élèves pour l'étude de cas proposée. La figure représente l'espace de contraintes produit à partir de la question : « L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ? » complétée par les éléments apportés suite à l'intervention « Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien ». Les éléments grisés correspondent à des éléments qui n'ont pas été pris en charge par les élèves. La flèche correspond à des nécessités identifiées suite à l'intervention (voir texte pour plus de détails).

Ceci nous semble indiquer que le registre épistémique est complexe et intègre différents éléments qui vont conduire à une construction de nécessités. Nous pensons ainsi que notre modèle d'espace de contraintes réalisé dans le cadre de notre étude cas intègre en plus des nécessités, des arguments construits en se basant sur une autre référence que celle mobilisée dans le cadre de la construction du problème initial et qui correspondent à des éléments du cadre épistémique. Dans notre cas, nous proposons que ces éléments découlent des valeurs portées par les élèves et nous allons revenir sur cela dans la discussion générale de ce travail.

Discussion générale

Ce doctorat est né de la question de savoir comment se fait la scolarisation du concept de biodiversité. Cette question nous a conduits à développer une réflexion épistémologique et didactique. Dans cette discussion générale, nous allons rappeler et discuter quelques points essentiels du travail exploratoire que nous avons mené. A l'issue de cela, nous allons proposer une réflexion émergente qui repose sur le rôle possible des valeurs qui influencent le processus de construction des problèmes et des savoirs et nous allons développer ce point en proposant un modèle de l'enseignement de la biodiversité entre valeurs, problèmes, savoirs et actions.

Place des savoirs dans l'enseignement de la biodiversité

En termes d'enseignement la biodiversité pose question, car elle n'est pas un concept appartenant uniquement au champ des disciplines scolaires scientifiques et en particulier des SVT. Dans ce cadre, les travaux menés sur l'enseignement de la biodiversité dans le contexte francophone insistent fréquemment sur sa double appartenance à la fois au domaine de la didactique des enseignements scientifiques, mais aussi à ses dimensions transversales et liées aux éducations à l'environnement et au développement durable.

Assez souvent, cette question de la prise en compte scolaire des dimensions environnementales est présentée dans le cadre d'une opposition entre d'une part l'enseignement traditionnel qui consisterait essentiellement en une acquisition de connaissances scientifiques concernant les dégradations environnementales et d'autre part un enseignement de compétences permettant de penser un enseignement orienté vers l'action (Voir par exemple Jensen, 2002). Comme nous l'avons dit, le risque d'un enseignement orienté vers l'action est qu'il pourrait aussi conduire à une approche comportementaliste sans aucune dimension critique, basée sur la mise en place de « bons gestes » issus d'un « catéchisme républicain » sans que ceux-ci ne fassent sens pour les élèves (Fleury et Fabre, 2006). Dépasser ces bons gestes passe par une clarification des savoirs en questions (Fabre, 1996). Nous avons donc réalisé, dans une première partie de la thèse, une analyse épistémologique de la notion de biodiversité.

Ce travail de réflexion épistémologique nous semble constituer un apport important de ce doctorat. Nous avons cherché à nous baser sur des références primaires classiques, mais aussi plus récentes pour développer une analyse épistémologique qui soit le plus étayée possible.

Ceci nous semble indispensable pour envisager une réflexion didactique sur la question de la biodiversité qui au-delà de son caractère difficilement définissable est aujourd'hui un sujet important de recherches scientifiques au niveau international¹¹⁶.

Nous avons montré que la biodiversité pouvait être étudiée scientifiquement selon deux visions principales :

- D'une part, une vision ordonnée et équilibrée du vivant qui est essentiellement étudiée au niveau spécifique et écosystémique. Cette vision équilibrée laisse une large place à une approche descriptive et structurelle de la biodiversité et repose notamment sur le calcul d'indices qui permettent de la mesurer. Dans ce cadre la biodiversité est vue comme un « patrimoine » à protéger
- D'autre part, une vision évolutive qui est plus largement centrée sur une approche historique et dynamique de la biodiversité. Dans ce cas la notion d'espèce devient beaucoup plus floue et la biodiversité est vue comme le résultat actuel d'un processus évolutif toujours en action. Ceci implique qu'il faut accepter que certaines espèces s'éteignent et ce qui compte c'est autant de maximiser la création de nouveautés que de protéger l'existant. D'un point de vue épistémologique, on peut rapprocher cette vision de modèles fréquemment utilisés en sciences qui considèrent la dynamique d'un système à partir des flux d'entrée et de sortie.

En plus de ces dimensions scientifiques, nous avons également montré que la biodiversité relevait du champ social et que, dans ce cadre, elle était aujourd'hui largement repensée par le développement des services écosystémiques. Ces services écosystémiques posent cependant de nombreuses questions et nous avons montré que les aspects d'éthique environnementale

¹¹⁶ Une recherche réalisée sous sciencedirect (<https://www.sciencedirect.com/>) pour les articles avec le mot « *biodiversity* » dans le titre donne 1934 résultats pour 2017 et 1581 pour 2016.

devaient être pris en compte dans ce cadre. Nous avons ainsi opposé une vision bio/écocentrique qui considère que la nature possède *per se* un droit à une vision anthropocentrique pour qui la biodiversité doit-être protégée pour les services qu'elle rend à l'Homme. L'ensemble de cette analyse épistémologique a été synthétisé dans un modèle qui construit le sens de ce qu'est la biodiversité autour d'une double tension scientifique et sociale (Figure 9, p.101).

Sur cette base épistémologique, nous avons mené des études exploratoires pour analyser la place de la biodiversité dans les programmes scolaires de sciences. Cette analyse conduite avec une méthodologie originale a combiné deux regards, l'un issu d'une analyse qualitative thématique, l'autre résultant d'une approche lexicométrique. Ceci nous a permis de mettre en évidence la relativement grande richesse des dimensions évolutives développées sur la biodiversité mais aussi l'absence de certains aspects comme les indices de mesures de la biodiversité ou les liens entre biodiversité et résistance et résilience des écosystèmes. Concernant la dimension sociale du concept, les programmes semblent très prudents en mettant de l'avant le fait de fonder ces approches « sur des arguments scientifiques ». Cependant, ils ne construisent que très ponctuellement des liens entre les enjeux de protection de la biodiversité et les enseignements des dimensions scientifiques. On retrouve donc dans les programmes un risque de dérive vers des bons gestes qui ne seraient pas fondés sur des savoirs construits.

Pour éviter cette dérive, il est important de mettre en place une réflexion sur la nature des savoirs scientifiques scolaires. La problématisation propose de considérer les actions pro-environnementales possibles comme des réponses envisagées face à un problème à l'étude. Ainsi, elle replace les actions pro-environnementales dans le cadre de la construction des problèmes. Comme l'indique Fabre (2014) dans la conclusion de son travail, ceci peut être relié à la proposition de Dewey (1859-1952) qui « pensait que seule la formation d'un public éclairé, pouvant avoir accès à la construction des problèmes eux-mêmes et non au choix de solutions pensées par d'autres, permettait l'émergence d'une véritable liberté démocratique ».

Dans le cadre scolaire, ces actions ne sont pas obligatoirement des gestes concrets, mais aussi des positionnements dans des études de cas ou des prises de position critique (Lange et

Martinand, 2010). Appliquée à la question d'un enseignement où les savoirs sont construits dans un objectif de mise en place d'actions actuelles ou futures, la problématisation pourrait éviter à la fois les écueils d'une approche comportementaliste (car elle conduit à considérer les actions comme des réponses possibles à des problèmes) et ceux d'une approche relativiste (car elle se base sur la construction de nécessités).

Malgré son caractère exploratoire et le fait que notre étude s'est plus intéressée aux représentations des élèves qu'à la mise en place d'une problématisation complète, il nous semble que l'étude de cas réalisée en classe de troisième apporte des éléments intéressants puisqu'elle permet de montrer comment les élèves pourraient construire des nécessités en tension (dans notre étude de cas : la nécessité de protéger l'insecte et celle de finir la construction de l'autoroute) débouchant sur divers types d'actions possibles. Cependant, face à une intervention extérieure insistant sur la nécessité de finir la route, les élèves vont mobiliser de nouvelles nécessités permettant de maintenir la priorité allouée à la nécessité de protéger l'insecte. Nous pensons que ces nécessités nouvelles découlent des valeurs portées par les élèves. Nous allons donc définir plus précisément ce que sont les valeurs.

Définition des valeurs

Le terme valeurs est utilisé dans de nombreuses disciplines et présente de fait une grande variété de définitions. Dans les études qui s'intéressent au rôle des valeurs dans la mise en place individuelle de comportements pro-environnementaux, les valeurs sont souvent présentées dans le cadre de la théorie des valeurs de Schwartz (Schwartz, 2006). Les valeurs sont : « *desirable goals, varying in importance, that serve as guiding principles in people's lives*¹¹⁷ »

¹¹⁷ « [Traduction libre] objectifs souhaitables, d'importance variable, qui servent de principes directeurs dans la vie des gens »

(Schwartz, 1992, p. 21). En ce sens, les valeurs sont vues pour une personne comme des objectifs qui servent de principes directeurs abstraits et généraux et qui transcendent les situations. Schwartz identifie dix valeurs regroupées en 4 groupes : dépassement de soi (*self-transcendence*), continuité (*conservatism*), affirmation de soi (*self-enhancement*) et ouverture au changement (*openness to change*) (Schwartz, 2006).

Les études menées tendent à montrer que les attitudes et les actions pro-environnementales sont associées positivement à des valeurs de dépassements de soi et que c'est l'inverse pour les personnes présentant fortement des valeurs d'affirmation de soi (Steg et de Groot, 2012). Cependant dans le cadre environnemental, il semble également exister d'autres éléments qui pourraient ainsi constituer une valeur supplémentaire, appelée biosphérique, associée au groupe des valeurs du dépassement de soi (Steg et de Groot, 2012). Les valeurs biosphériques reflètent un souci de la nature et de l'environnement en soi, sans lien direct avec le bien-être des autres êtres humains. Les personnes qui adhèrent fortement aux valeurs de la biosphère se soucient de la nature et de l'environnement et sont plus susceptibles de mettre en place des actions favorables à l'environnement (van der Werff, Steg et Keizer, 2013), comme la consommation durable (Thøgersen et Ölander, 2002).

Les valeurs biosphériques mettent l'accent sur la possible valeur intrinsèque de la nature et de l'environnement qui constituent donc « une fin en soi » (Larrère et Larrère, 1997, p. 71). La question de l'existence d'une valeur intrinsèque a constitué le cœur du développement des réflexions en éthique de l'environnement que nous avons développées dans la partie (

, p.89). Cependant, l'existence d'une valeur intrinsèque sans un sujet humain évaluateur ne va pas de soi. En effet, il apparaît paradoxal de reconnaître une valeur à la nature en elle-même sans considération de son éventuelle utilité. Si l'homme a une obligation morale à cause de la valeur de la nature, il semble impossible d'affirmer dans le même temps que cette valeur est totalement indépendante de lui et on peut se demander si cette valeur biosphérique intrinsèque possède une réalité.

Valeur intrinsèque de la nature

Callicott considère qu'une valeur ne peut être vue comme une propriété, car « [...] la valeur de quelque chose, d'un point de vue moderne, est déterminée par l'acte intentionnel d'un sujet cartésien qui se rapporte à un objet - que cet « objet » soit le sujet lui-même ou un autre [...] » (Callicott, 2007, p. 202). Ainsi, pour Callicott, la valeur intrinsèque qu'une personne accorde à la nature va lui donner cette valeur : « Quelque chose “a” une valeur intrinsèque si on le valorise de façon intrinsèque. Que signifie le fait de valoriser une chose de façon intrinsèque ? Cela signifie qu'on les valorise en tant que fins en soi. » (Callicott, 2010, p. 123). L'approche de Callicott n'est donc pas véritablement non anthropocentrique, mais permet de penser une valeur intrinsèque qui est liée à la décision intentionnelle.

Une autre manière de considérer la valeur intrinsèque de la nature est de lui conférer une valeur intrinsèque objective qui considère l'existence de règles universelles notamment le fait que chaque organisme vivant favorise sa survie et sa reproduction. Ces règles universelles deviennent des « fins en soi ». Ainsi, la valeur intrinsèque de la nature est une donnée « objective » qui peut être basée sur la dynamique évolutive. « Il est objectivement difficile de dissocier l'idée de valeur de l'idée d'une sélection naturelle. Les biologistes parlent régulièrement de la “valeur de survie” des activités déployées par les plantes : la production d'épines a une valeur de survie, par exemple. » (Rolston III, 2007, p. 163). De ce positionnement, Rolston III considère qu'il y a « [...] une sorte d'inconscience en ces temps de crise écologique, à vivre en prenant pour cadre de référence l'existence d'une espèce qui se rapporte à elle-même comme à un absolu, et qui évalue tout le reste de la nature comme une réserve potentielle de valeurs dont elle saura avoir l'usage. » (Rolston III, 2007, p. 185).

Dans la vision défendue par Rolston III, c'est la connaissance écologique et évolutive de la nature qui permet d'en comprendre la valeur intrinsèque. Il exprime d'ailleurs clairement l'importance de ces connaissances pour pouvoir donner une valeur à la nature en affirmant à propos des philosophes qui ne considèrent pas que la nature a une valeur intrinsèque : « De tels philosophes vivent dans un monde qu'ils n'examinent pas, d'où il résulte que la vie de ces hommes, ainsi que celle de ceux qu'ils guident à travers le monde, est sans valeur, parce qu'ils ne prennent pas la peine de voir le monde où ils vivent – ce monde qui est bien digne d'être valorisé. » (Rolston III, 2007, p. 185).

Cette vision d'une valeur intrinsèque qui se base sur la connaissance évolutive nous amène à mettre en avant un lien entre savoirs, actions et valeurs. De manière à illustrer l'intérêt de cela, nous allons présenter un exemple dans le cadre de la protection de la biodiversité.

Un exemple possible du lien savoirs, actions et valeurs pour la protection de la biodiversité

Nous allons reprendre l'exemple de l'étude de cas concernant l'arrêt d'une autoroute suite à la découverte d'une espèce protégée que nous avons réalisée en classe de troisième (Parie E - La scolarisation de la biodiversité, étude de cas sur les conditions d'apprentissages des élèves, p. 159. Dans le cadre d'une réflexion qui ne considère pas que l'espèce d'insecte possède une valeur intrinsèque, il va falloir essayer de se poser la question de l'intérêt pour l'Homme de protéger cette espèce. Dans cette approche, les êtres vivants n'ont une valeur que s'ils ont, directement ou non, une utilité pour l'Homme. L'absence de prise en compte d'une valeur intrinsèque va donc conduire à problématiser les savoirs concernant la protection de cet insecte en fonction de son intérêt en termes de services rendus à l'Homme. Le travail de problématisation va donc se mettre en place autour de données biologiques sur l'insecte liées à son utilité potentielle. Les savoirs construits vont s'appuyer sur les possibles utilités écologiques, économiques, récréatives... Les données obtenues sur l'utilité pour l'Homme conduiront ou non à la mise en place d'une action de protection. Cette approche centrée sur l'utilité pour l'Homme rejoint celle de l'ensemble des traités internationaux qui se positionnent clairement dans cette perspective (Bergandi et Galangau-Quérat, 2008) notamment via le développement de la notion de services écosystémiques définis comme « les

bénéfices que les êtres humains tirent des écosystèmes » (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Ainsi, la biodiversité ne devient susceptible d'être défendue que parce qu'elle produit des services écosystémiques que l'Homme utilise ou dont il a besoin de manière active ou passive (Jax et al., 2013). La problématisation mise en place aboutira probablement à une quantification des services écosystémiques rendus par cette espèce pour envisager des actions possibles. C'est cette position qui est prise par les élèves qui considèrent que l'insecte doit bien servir à quelque chose ou servira plus tard.

Dans le cas d'une approche basée sur la valeur intrinsèque du vivant, la question de l'utilité ne se pose plus. Par rapport à l'anthropocentrisme où il faut justifier la protection en fonction des intérêts humains, il y a inversion de la charge de la preuve : c'est l'Homme qui doit prouver que son action ne va apporter aucune perturbation notable (Chevassus-au-Louis, Barbault et Blandin, 2004). La problématisation qui va se mettre en place sera guidée par la nécessité de mettre en place une action de protection et les savoirs construits se structureront autour des solutions pour protéger cette espèce en fonction de données écologiques, politiques, communicationnelles.... Dans cette approche, le passage des connaissances à l'action est beaucoup plus immédiat puisqu'il devient nécessaire de protéger la biodiversité en dehors de toute utilité potentielle. C'est cette position qui est mobilisée par les élèves qui considèrent que l'Homme n'a pas à décider de détruire une espèce ou que l'insecte a le droit de vivre.

Enfin, il faut mentionner la possible existence d'un intérêt esthétique de l'espèce. Dans le cadre du pique-prune, il n'y a pas présence de cette dimension, mais pour d'autres exemples, il se peut que ceci devienne une donnée importante. A l'école primaire, Franc et al. (2013) montrent l'existence d'une relation affective, corrélée avec les savoirs, en éducation à la biodiversité. C'est bien par ce biais que de nombreuses espèces sont médiatisées et protégées. Ce qui est esthétique n'est pas tant l'objet en soi, mais la relation subjective que l'on entretient avec cet objet qui peut aussi être rapproché de la vision patrimoniale de la biodiversité (Maris, 2006). Cet aspect occupe un rôle très important, et bien connu, dans la biologie de la conservation. Il a été formalisé autour de la notion d'espèce parapluie. Ce sont des espèces à large habitat ou niche écologique telle que, si elles sont protégées, elles assurent la protection d'un grand nombre d'autres espèces. Ainsi en est-il du Flamant rose ou du Panda géant. Leur caractère emblématique et esthétique permet de mobiliser des personnes pour mettre en place

des mesures de protection de leur habitat, ce qui par voie de conséquence améliore l'environnement d'un grand nombre d'autres espèces vivant sur le même territoire. L'intérêt esthétique est donc bien une manière de favoriser la mise en place d'actions concrètes de protection.

Bien sûr, il serait caricatural de croire qu'une personne va se définir totalement par rapport à un seul type de valeurs. Cependant, ceci illustre bien l'incidence que les valeurs peuvent avoir sur la manière de prendre en compte des données différentes et sur le positionnement à adopter face à la mise en place d'une action de protection de la biodiversité. Nous allons donc proposer un modèle qui intègre ces valeurs pour penser un possible enseignement problématisé de la biodiversité.

Construction des problèmes entre savoirs actions et valeurs

La vision problématisée des savoirs environnementaux offre l'opportunité de penser différemment la place des savoirs et leur lien à l'action. Nous proposons de penser le lien entre données du registre empirique, valeurs (essentiellement biosphériques) et actions (au sens de réponses envisagées face à un problème à l'étude) comme un système d'interrelations (Figure 25, p.208). Pour chacune d'elles, quelques éléments sont présentés ci-dessous :

- Influence des données sur les valeurs. L'influence des connaissances sur les valeurs d'un individu est particulièrement évidente dans la vision défendue par Rolston III (2007) qui se base sur la connaissance écologique et évolutive pour justifier de l'existence d'une valeur intrinsèque à la nature.
- Influence des valeurs sur les données. Les valeurs vont moduler le type de données prises en charge. Dans le cadre de l'éducation à un développement durable, le terme même de développement durable correspond à une prise de position (Girault et Sauvé, 2008).
- Influence des valeurs sur les actions possibles. Les valeurs viennent « [...] orienter la réflexion vers telles ou telles solutions » (Fabre, 2014, paragraphe 9). Les savoirs se construisent donc « [...] dans un système de valeurs allant

avec une éthique particulière, reflétant une certaine vision du monde, alors que d'autres choix sont possibles. » (Jeziorski, Legardez et Bader, 2015, p. 222).

- Influence des actions possibles sur les valeurs. Si les valeurs sont stables, les actions peuvent influencer leur importance respective les unes par rapport aux autres (Schwartz, 2006)
- Influence des données sur les actions possibles. Les actions possibles sont liées à la construction d'un problème. Or construire un problème revient toujours à privilégier certains éléments en se basant sur des données judicieusement choisies (Fabre 2014).
- Influence des actions sur les savoirs. Le caractère non définitif des problèmes entraîne des choix d'action qui vont conduire à de nouvelles situations nécessitant la mobilisation ou la construction de nouveaux savoirs.

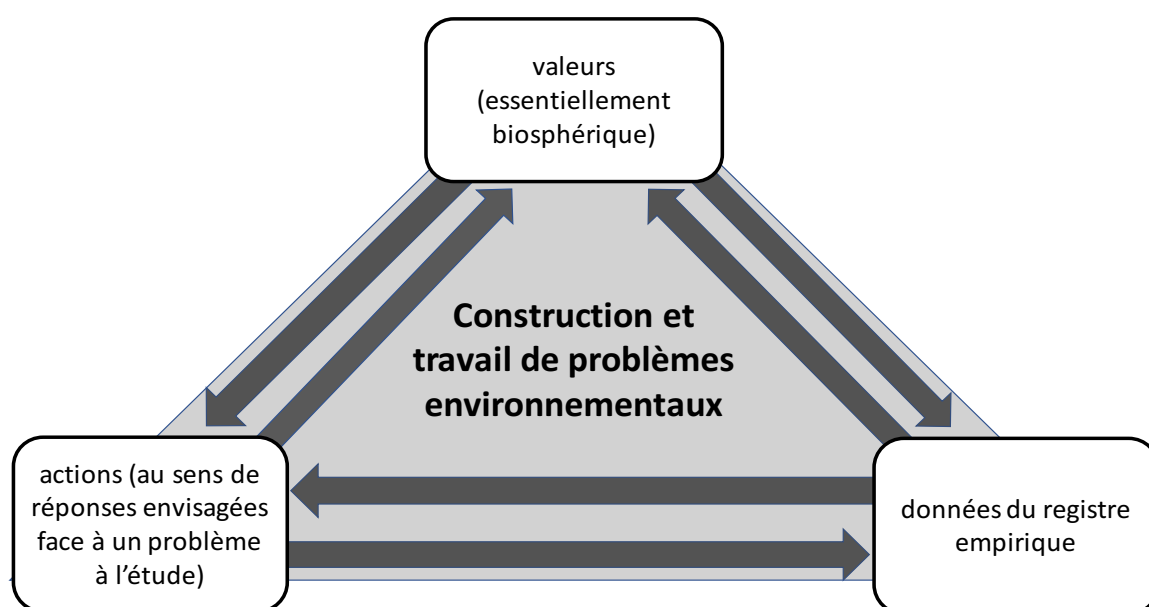


Figure 25 : Modèle d'une éducation à l'environnement et à un développement durable basé sur la construction et le travail de problèmes (voir texte pour l'explication). La construction et le travail des problèmes et savoirs environnementaux n'est permise que par les interactions (indiquées par les flèches) des données du registre empirique, des valeurs et des actions.

Le modèle proposé rejoint en partie le modèle KVP (K = Knowledge pour connaissances ou savoirs scientifiques, V = Valeurs et P = Pratiques sociales) proposé par Clément (Clément, 1998; Clément, 2010). Cependant, dans le modèle de Clément, l'objectif est d'analyser les conceptions et en ce sens le modèle ne s'intéresse pas directement à la construction du savoir mais plutôt à l'analyse curriculaire de la transposition didactique et à son contexte sociopolitique. Quessada et Clément proposent d'ailleurs d'analyser ces interactions KVP par l'utilisation du délai de la transposition didactique qui mesure la durée qui sépare la publication scientifique d'un résultat important de recherche, et son introduction dans les programmes ou les manuels scolaires (Quessada et Clément, 2007). De plus, le modèle KVP s'intéresse aux valeurs dans un sens très large et dans leurs interactions avec des pratiques sociales

Notre modèle s'intéresse lui à la construction et au travail de problèmes environnementaux. En plus des interactions entre savoirs, valeurs et comportements, le centre de notre schéma met en exergue la construction et le travail de problèmes environnementaux (Figure 25). La construction de ces problèmes est permise par la mise en tension des éléments connus, des actions pro-environnementales possibles et des valeurs biosphériques mobilisées. Il constitue donc plutôt une proposition de modèle didactique permettant de penser la mise en place de savoirs problématisés dans une situation de classe et en particulier d'étude de cas. Dans l'articulation des savoirs, des valeurs et des actions, ce modèle rejoint plutôt la proposition de Lhoste et Voisin (2013) qui proposent un enseignement où la construction du champ de validité des savoirs se réalise dans le cadre d'une éducation au discernement.

Ce modèle nous semble pouvoir générer la mise en place d'études qui visent à mieux documenter comment valeurs, données et actions peuvent interagir dans la mise en place et la construction de problèmes environnementaux. Il nous semble une solution possible pour dépasser le débat sur la place des connaissances par rapport à celle des actions en offrant à voir l'importance que les valeurs peuvent revêtir dans un enseignement de la biodiversité. Ceci demeure cependant pour le moment un modèle théorique qui nécessiterait la mise en place d'études empiriques prenant en charge ces trois dimensions et permettant en retour la clarification du modèle.

Conclusion

La biodiversité est aujourd'hui menacée sur notre planète. En effet, malgré de nombreux travaux scientifiques qui ont souligné l'urgence de la mise en place de comportements pro-environnementaux, force est de constater que nos sociétés n'ont pas encore effectué un virage en ce sens. Ainsi, pendant la rédaction finale de ce doctorat, une tribune scientifique internationale signée par 15372 scientifiques de 184 pays, fait des constats accablants sur l'évolution de la situation depuis 1992. À l'exception de la stabilisation de la couche d'ozone stratosphérique, tous les autres indicateurs, dont ceux liés à la biodiversité, se sont détériorés (Ripple et al., 2017).

Ce constat peut être celui d'un échec global de nos sociétés à changer et il renvoie notamment à l'échec de l'école à former des citoyens capables d'agir pour diminuer ces dégradations environnementales. Ce constat d'échec interroge, car l'éducation environnementale est présente depuis la fin des années 1960 et l'ensemble des éléments scientifiques est facilement disponible.

Le travail mené dans ce doctorat participe à cette réflexion, mais nous incite aussi à la plus grande prudence face à l'ampleur des changements de société que porte la protection de la biodiversité. Nous nous garderons donc bien d'effectuer ici une conclusion définitive sur un sujet aussi vaste et complexe. Nous espérons cependant que l'analyse épistémologique mise en place puisse participer à une meilleure compréhension des enjeux d'un enseignement du concept de biodiversité. Nos travaux exploratoires empiriques ont aussi mis en évidence la difficulté à articuler les réflexions centrées sur les dimensions scientifiques et celles centrées sur la protection de l'environnement à la fois dans les programmes scolaires et dans les situations de classes. À l'issue de ce travail, nous venons de proposer dans la discussion générale un modèle qui repose sur l'idée que les valeurs pro-environnementales pourraient constituer un élément important pour penser une réflexion qui intègre les dimensions scientifiques et environnementales dans une démarche de problématisation des actions possibles. Cette prise en compte des valeurs dans le cadre d'une problématisation de questions socio-scientifiques environnementales constitue ainsi une piste de recherche future dont nous espérons qu'elle puisse être productive et contribuer ainsi à améliorer notre compréhension des enjeux et difficulté que posent les défis environnementaux à nos systèmes éducatifs.

Bibliographie

1. Acot, P. (1983). Darwin et l'écologie. *Revue d'histoire des sciences*, 36(1), 33-48. doi: 10.3406/rhs.1983.1902
2. ACSA. (2017). The Australian Curriculum Studies Association Website. Repéré à <http://www.acsa.edu.au/>
3. Allard-Poesi, F. (2003). Coder les données. Dans Y. Giordano (dir.), *Conduire un projet de recherche, une perspective qualitative* (p. 245-290). Collobelles: EMS.
4. Astolfi, J.-P. (2008). La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre. Paris: ESF.
5. Aubertin, C., Boisvert, V. et Vivien, F.-D. (1998). La construction sociale de la question de la biodiversité. *Nature Sciences Sociétés*, 6(1), 7-19.
6. Bachelard, G. (1938/2001). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
7. Bahoken, F., Beauguitte, L. et Lhomme, S. (2013). La visualisation des réseaux. Principes, enjeux et perspectives.
8. Barbault, R. (2005). Biodiversité, écologie et sociétés. *Ecologie & Politique*, 30(numéro spécial « La biodiversité est-elle encore naturelle ? »), 27-40.
9. Barbault, R. (2006). Un éléphant dans un jeu de quilles. L'homme dans la biodiversité. Paris: Seuil.
10. Bardin, L. (2007). *L'analyse de contenu*. Paris: PUF.
11. Barroca-Paccard, M., Orange-Ravachol, D. et Gouyon, P.-H. (2013). Éducation au développement durable et diversité du vivant : la notion de biodiversité dans les programmes de sciences de la vie et de la Terre. *Penser l'Education, HS (décembre 2013)*, 61-71.
12. Barthes, A. (2017). Quels outils curriculaires pour des « éducations à » vers une citoyenneté politique ? . *Educations*, 1.
13. Barthes, A. et Alpe, Y. (2013). Le curriculum caché du développement durable. *Penser l'éducation, HS*, 101-121.
14. Beitone, A. (2004). Questions socialement vives, débats scientifiques et débats éthico-politiques. *Les cahiers pédagogiques*, n°47.
15. Bennett, N. J., Roth, R., Klain, S. C., Chan, K., Christie, P., Clark, D. A., . . . Wyborn, C. (2017). Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation. *Biological Conservation*, 205, 93-108. doi: 10.1016/j.biocon.2016.10.006
16. Bergandi, D. et Galangau-Quérat, F. (2008). Le développement durable, les racines environnementalistes d'un paradigme. *ASTER*, 46, 31-44.
17. Berger, E., Crescentini, A., Galeandro, C. et Mainardi Crohas, G. (2010). *La triangulation au service de la recherche en éducation. Exemples de recherches dans l'école obligatoire*. Communication présentée Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF), Genève.
18. Bickford, D., Lohman, D. J., Sodhi, N. S., Ng, P. K., Meier, R., Winker, K., . . . Das, I. (2007). Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends Ecol Evol*, 22(3), 148-155. doi: 10.1016/j.tree.2006.11.004
19. Blais, M. et Martineau, S. (2006). L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches Qualitatives*, 26(2), 1-18.
20. Blanckaert, C. (1994). Le temps, grand ouvrier de la nature. Les Cahiers de Science et Vie, série « Les pères fondateurs de la science », n°23 (n° spécial consacré à Buffon).

21. Blandin, P. (2009). De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité. Versailles: Qae.
22. Blandin, P. (2014). Chapitre 1 La diversité du vivant avant (et après) la biodiversité : repères historiques et épistémologiques. Dans E. Casetta & J. Delord (dir.), *La biodiversité en question Enjeux philosophiques, éthiques et scientifiques* (p. 31-68). Paris: Editions Matériologiques.
23. Bonhoure, G. et Hagnerelle, M. (2003). L'éducation relative à l'environnement et au développement durable. Un état des lieux. Des perspectives et des propositions pour un plan d'action. Rapport à Monsieur le ministre de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche, Monsieur le ministre délégué à l'Enseignement scolaire. Paris: Inspection générale de l'éducation nationale.
24. Bourguet, M.-N. et Bonneuil, C. (1999). Dossier Thématique De l'inventaire du monde à la mise en valeur du globe. Botanique et colonisation (fin XVIIe siècle-début XXe siècle). *Revue française d'histoire d'outre-mer*, tome 86.
25. Brignon, A. (2013). L'étude inachevée d'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire sur les crocodiles fossiles (Thalattosuchia) de Normandie à la lumière de documents inédits. *Annales de Paléontologie*, 99(3), 169-205. doi: 10.1016/j.annpal.2013.02.001
26. Brodersen, J. et Seehausen, O. (2014). Why evolutionary biologists should get seriously involved in ecological monitoring and applied biodiversity assessment programs. *Evol Appl*, 7(9), 968-983. doi: 10.1111/eva.12215
27. Bronckart, J.-P. et Plazaola Giger, M. I. (1998). La transposition didactique. Histoire et perspectives d'une problématique fondatrice. *Pratiques*, 97-98, 35-58.
28. Bull, J. W., Gordon, A., Law, E. A., Suttle, K. B. et Milner-Gulland, E. J. (2014). Importance of Baseline Specification in Evaluating Conservation Interventions and Achieving No Net Loss of Biodiversity. *Conservation Biology*, 28(3), 799-809. doi: 10.1111/cobi.12243
29. Bull, J. W. et Maron, M. (2016). How humans drive speciation as well as extinction. *Proc Biol Sci*, 283(1833), 1-10. doi: 10.1098/rspb.2016.0600
30. Bunge, J. et Fitzpatrick, M. (1993). Estimating the number of species: a review. *Journal of the American Statistical Association*, 88(421), 364-373.
31. Burns, J. M., Janzen, D. H., Hajibabaei, M., Hallwachs, W. et Hebert, P. D. (2008). DNA barcodes and cryptic species of skipper butterflies in the genus *Perichares* in Area de Conservacion Guanacaste, Costa Rica. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 105(17), 6350-6355. doi: 10.1073/pnas.0712181105
32. Callicott, J. B. (2007). La valeur intrinsèque dans la nature : une analyse métaéthique. Dans H.-S. Afeissa (dir.), *Éthique de l'environnement. Nature, valeur, respect* (p. 187-225). Paris: Vrin.
33. Callicott, J. B. (2010). *Éthique de la Terre*. Marseille: Wildproject.
34. Caplan, A. L. (1980). Have Species Become Déclassé? PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, 1, 71-82.
35. Carbou, G. (2017). Analyser les textes à l'ère des humanités numériques: Quelques questions pour l'analyse statistique des données textuelles. *Les Cahiers du numérique*, 13(3), 91-114.
36. Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., . . . Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67. doi: 10.1038/nature11148
37. Chalakov, H. (2012). Conditions didactiques et difficultés de construction de savoirs problématisés en sciences de la Terre : étude de la mise en texte des savoirs et des pratiques

- enseignantes dans des séquences ordinaires et forcées concernant le magmatisme (collège et lycée). (Université de Nantes, Nantes)
38. Chao, A., Chiu, C.-H. et Jost, L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 45, 297-314.
 39. Chawla, L. et Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental Education Research*, 13(4), 437-452.
 40. Chevallard, Y. (1985). La Transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble: La pensée Sauvage.
 41. Chevassus-au-Louis, B., Barbault, R. et Blandin, P. (2004). *Que décider? Comment? Vers une stratégie nationale de recherche sur la biodiversité pour un développement durable*. Biodiversité et changements globaux. enjeux de société et défis pour la recherche. Association pour la diffusion de la pensée française. Ministère des Affaires étrangères, Paris.
 42. Clément, P. (1998). La biologie et sa didactique. Dix ans de recherches. *ASTER*, 27, 57-93.
 43. Clément, P. (2010). Conceptions, représentations sociales et modèle KVP. *Skholé*, 16, 55-70.
 44. Condorcet, N. (1847). *Oeuvres de Condorcet. Tome sixième*. Paris: Firmin Didot Frères.
 45. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. doi: 10.1038/387253a0
 46. Coyne, J., . et Orr, H. A. (2004). *Speciation*. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
 47. Cracraft, J. (1983). Species Concepts and Speciation Analysis. Dans R. F. Johnston (dir.), *Current Ornithology 1* (p. 159-187). New York: Plenum Press.
 48. CREDOC. (2015). L'opinion des français sur la participation des citoyens à une agence pour la biodiversité (p. 22).
 49. Crutsinger, G. M. (2016). A community genetics perspective: opportunities for the coming decade. *New Phytol*, 210(1), 65-70. doi: 10.1111/nph.13537
 50. Daily, G. C. (1997). Introduction; What are ecosystem services? Dans G. C. Daily (dir.), *Natures services: societal dependence on natural ecosystems* (p. 1-10). Washington, DC: Island Press.
 51. Darwin, C. (1859/2009). L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie. (Traduit par E. Barbier). Paris: Flammarion.
 52. Darwin, C. (1860). On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life (2d ed.^e éd.). London: Murray.
 53. De Queiroz, K. (2007). Species concepts and species delimitation. *Syst Biol*, 56(6), 879-886. doi: 10.1080/10635150701701083
 54. de Snoo, G. R., Herzon, I., Staats, H., Burton, R. J. F., Schindler, S., van Dijk, J., . . . Musters, C. J. M. (2013). Toward effective nature conservation on farmland: making farmers matter. *Conservation Letters*, 6(1), 66-72. doi: 10.1111/j.1755-263X.2012.00296.x
 55. Dean, A. et Sharp, J. (2006). Getting the most from NUD*IST/Nvivo. *The Electronic Journal of Business Research Methods*, 4(1), 11-22.
 56. DeAngelis, D. L. et Waterhouse, J. C. (1987). Equilibrium and Nonequilibrium Concepts in Ecological Models. *Ecological Monographs*, 57(1), 1-21.
 57. Degenne, A. et Vergès, P. (1973). Introduction à l'analyse de similitude. *Revue française de sociologie*, 471-512.
 58. Delière, G. et Neuteleers, S. (2015). Should Biodiversity be Useful? Scope and Limits of Ecosystem Services as an Argument for Biodiversity Conservation. *Environmental Values*, 24(2), 165-182. doi: 10.3197/096327114x13947900181275

59. DeLong, D. C. (1996). Defining Biodiversity. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 24(4), 738-749.
60. Delord, J. (2014). Chapitre 3 La biodiversité : imposture scientifique ou ruse épistémologique ? Dans E. Casetta & J. Delord (dir.), *La biodiversité en question. Enjeux philosophiques, éthiques et scientifiques* (p. 83-118). Paris: Editions Matériologiques.
61. Derobertmasure, A. (2012). La formation initiale des enseignants et le développement de la réflexivité ? Objectivation du concept et analyse des productions orales et écrites des futurs enseignants. (Université de Mons, Mons).
62. Descola, P. (2005). *Par-delà nature et culture*. Paris: Gallimard.
63. Desrosières, A. (2008). Chapitre 16. Bourdieu et les statisticiens : une rencontre improbable et ses deux héritages. . Dans A. Desrosières (dir.), *Pour une sociologie historique de la quantification : L'Argument statistique I* (p. 291-299). Paris: Presses des Mines.
64. Develay, M. (1995). Savoirs scolaires et didactiques des disciplines. Une encyclopédie pour aujourd'hui. Paris: ESF.
65. Dubois, A. (2006). Incorporation of nomina of higher-ranked taxa into the International Code of Zoological Nomenclature: some basic question. *Zootaxa*, 1337, 1-37.
66. Dubois, A. (2008). Le Code international de nomenclature zoologique: présentation, philosophie, règles majeures, problèmes actuels. Dans D. Prat, A. Raynal-Roques & A. Roguenant (dir.), *Peut-on classer le vivant ? Linné et la systématique aujourd'hui* (p. 355-402). Paris: Editions Belin.
67. Duris, P. et Gohau, G. (2011). *Histoire des sciences de la vie*. Paris: Editions Belin.
68. Egerton, F. N. (1973). Changing Concepts of the Balance of Nature. *The Quarterly Review of Biology*, 48(2), 322-350.
69. Eizaguirre, C. et Baltazar-Soares, M. (2014). Evolutionary conservation-evaluating the adaptive potential of species. *Evolutionary Applications*, 7(9), 963-967. doi: 10.1111/eva.12227
70. Eldredge, N. et Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. Dans T. J. M. Schopf (dir.), *Models in paleobiology* (p. 82-115). San Francisco: Freeman, Cooper & Co.
71. Erwin, T. L. (1982). Tropical Forests : Their Richness in Coleoptera and Other Arthropod Species. *The Coleopterists Bulletin*, 36(1), 74-75.
72. Fabre, M. (1996). L'utopie bachelardienne de la formation à l'épreuve de la post-modernité. *Penser l'éducation*, 1, 59-73.
73. Fabre, M. (1999). Situations-problèmes et savoir scolaire. Paris: PUF.
74. Fabre, M. (2007). Des savoirs scolaires sans problèmes et sans enjeux. La faute à qui ? *Revue française de pédagogie*, 161, 19-78. doi: 10.4000/rfp.823
75. Fabre, M. (2009). Philosophie et pédagogie du problème. Paris: Vrin.
76. Fabre, M. (2014). Les « Éductions à » : problématisation et prudence. *Éducation et socialisation [Online]*, 36. doi: 0.4000/edso.875
77. Fabre, M. et Orange, C. (1997). Construction de problèmes et franchissements d'obstacles. *ASTER*, 24, 37-57.
78. Feder, M. E. et Hofmann, G. E. (1999). Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology. *Annu Rev Physiol*, 61, 243-282. doi: 10.1146/annurev.physiol.61.1.243
79. Feller, J. (1977). L'Analyse du contenu, de L. Bardin. *Communication et langages*, 35, 123-124.
80. Ferraro, P. J. et Pattanayak, S. K. (2006). Money for nothing? A call for empirical evaluation of biodiversity conservation investments. *PLoS Biol*, 4(4), e105. doi: 10.1371/journal.pbio.0040105

81. Fisher, R. A., Steven Corbet, A. et Williams, B. (1943). The Relation Between the Number of Species and the Number of Individuals in a Random Sample of an Animal Population. *The Journal of Animal Ecology*, 12(1), 42-58.
82. Fleury, B. et Fabre, M. (2006). La pédagogie sociale : inculcation ou problématisation ? L'exemple du développement durable dans l'enseignement agricole français. *Recherches en éducation*, 1, 1-4.
83. Flot, J. F. (2015). Species Delimitation's Coming of Age. *Syst Biol*, 64(6), 897-899. doi: 10.1093/sysbio/syv071
84. Forquin, J.-C. (2008). *Sociologie du curriculum*. Rennes: PUR.
85. Franc, S. (2012). Savoirs, affectivité et comportements : articulation de trois dimensions pour comprendre comment se construisent les apprentissages dans le contexte de l'éducation à la biodiversité Le cas de l'étude d'arthropodes à l'école primaire en France. (Université de Montpellier 2, Montpellier).
86. Franc, S., Reynaud, C. et Hasni, A. (2013). Apprentissages en éducation à la biodiversité à l'école élémentaire : savoirs et émotions au sujet des arthropodes. *RDST*, 8, 65-90.
87. Garson, J., Plutynski, A. et Sarkar, S. (2016). *The Routledge Handbook of Philosophy of Biodiversity*. London: Routledge.
88. Gayon, J. (2012). De Popper à la biologie de l'évolution : la question de l'essentialisme. *Philonsorbonne*, 6, 127-136.
89. Giolitto, P. (1982). *Pédagogie de l'environnement*. Paris: PUF.
90. Girault, Y. et Alpe, Y. (2011). La biodiversité, un concept hybride entre science et gouvernance. Dans A. Legardez & L. Simonneaux (dir.), *Développement durable et autres questions d'actualité. Questions socialement vives dans l'enseignement et la formation*. (p. 385-401). Dijon: Educagri Éditions,.
91. Girault, Y., Lange, J.-M., Fortin-Debart, C., Delalande Simonneaux, L. et Lebeaume, J. l. (2007). La formation des enseignants dans le cadre de l'éducation à l'environnement pour un développement durable : problèmes didactiques. *Éducation Relative à l'Environnement*, 6, 119-136.
92. Girault, Y., Quertier, E., Fortin Debart, C. et Maris, V. (2008). L'éducation relative à l'environnement dans une perspective sociale d'écocitoyenneté. Réflexion autour de l'enseignement de la biodiversité. Dans A. Gardiès, I. Fabre, C. Ducamp & V. Albe (dir.), *Education à l'information et éducation aux sciences : quelles formes scolaires ? Rencontres Toulouse Educagro* (p. 87-120). Toulouse: Enfa.
93. Girault, Y. et Sauvé, L. (2008). L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable Croisements, enjeux et mouvances. *ASTER*, 46, 7-30.
94. Gobert, J. (2014). Processus d'enseignement-apprentissage de raisonnements néodarwiniens en classe de Sciences de la Vie et de la Terre. (Université de Caen Basse-Normandie, Caen).
95. Gosselin, F. (2014). Chapitre 4 Diversité du vivant et crise d'extinction : des ambiguïtés persistantes. Dans E. Casetta & J. Delord (dir.), *La biodiversité en question. Enjeux philosophiques, éthiques et scientifiques* (p. 117-137): Editions Matériologiques.
96. Gotelli, N. J. et Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4, 379-391.
97. Gould, S. J. (1997). L'éventail du vivant : le mythe du progrès. Paris: Seuil.
98. Gould, S. J. (2002). *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

99. Goullé, J.-P., Pépin, G., Dumestre-Toulet, V. et Lacroix, C. (2004). Botanique, chimie et toxicologie des solanacées hallucinogènes : belladone, datura, jusquiame, mandragore. *Annales de Toxicologie Analytique*, 16(1), 22-35. doi: 10.1051/ata/2004023
100. Goulven, L. (1975). Lamarck : de la philosophie du continu à la science du discontinu. *Revue d'histoire des sciences*, 28(4), 327-360. doi: 10.3406/rhs.1975.1180
101. Gouyon, P.-H. (2001). Les harmonies de la nature à l'épreuve de la biologie. Versailles : Editions Quæ.
102. Grancher, C. (2016). Engager des élèves dans des processus d'acculturation scientifique dans une perspective développementale : étude de cas sur le vivant à l'école primaire. (Université de Bordeaux, Bordeaux)
103. Grimm, V. et Wissel, C. (1997). Babel, or the Ecological Stability Discussions: An Inventory and Analysis of Terminology and a Guide for Avoiding Confusion. *Oecologia*, 109(3), 323-334.
104. Gunnell, Y. (2009). *Écologie et société*. Paris: Armand Colin.
105. Hammond, A., Galizi, R., Kyrou, K., Simoni, A., Siniscalchi, C., Katsanos, D., . . . Nolan, T. (2016). A CRISPR-Cas9 gene drive system targeting female reproduction in the malaria mosquito vector *Anopheles gambiae*. *Nat Biotechnol*, 34(1), 78-83. doi: 10.1038/nbt.3439
106. Hansen, M. M., Olivieri, I., Waller, D. M. et Nielsen, E. E. (2012). Monitoring adaptive genetic responses to environmental change. *Molecular Ecology*, 21(6), 1311-1329. doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05463.x
107. Hennig, W. (1965). Phylogenetic Systematics. *Annual Review of Entomology*, 10(1), 97-116. doi: 10.1146/annurev.en.10.010165.000525
108. Hersant, M. (2016, 11-14 mai 2016). *Cadre épidémique et cadre institutionnel : relation entre REX et contrat didactique*. Communication présentée 13ème Colloque PROBLEMA. Cadres et problématisation : le jeu des cadres épistémiques, psychosociologiques, etc. dans l'accès à des savoirs problématisés à l'école et en formation., Lille.
109. Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
110. Holling, C. S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. Dans P. Schulze (dir.), *Engineering within ecological constraints*. Washington D.C., USA: National Academy.
111. Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., . . . Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35.
112. Hurlbert, S. H. (1971). The Nonconcept of Species Diversity: A Critique and Alternative Parameters. *Ecology*, 52(4), 577-586.
113. Isaac, N. J., Mallet, J. et Mace, G. M. (2004). Taxonomic inflation: its influence on macroecology and conservation. *Trends Ecol Evol*, 19(9), 464-469. doi: 10.1016/j.tree.2004.06.004
114. Ives, A. R. et Carpenter, S. R. (2007). Stability and Diversity of Ecosystems. *Science*, 317(5834), 58-62.
115. Jax, K., Barton, D. N., Chan, K. M. A., de Groot, R., Doyle, U., Eser, U., . . . Wichmann, S. (2013). Ecosystem services and ethics. *Ecological Economics*, 93, 260-268. doi: 10.1016/j.ecolecon.2013.06.008
116. Jenny, J. (1997). Méthodes et pratiques formalisées d'analyse de contenu et de discours dans la recherche sociologique française contemporaine. Etat des lieux et essai de classification. *BMS: Bulletin of Sociological Methodology / Bulletin de Méthodologie Sociologique*(54), 64-122.

117. Jensen, B. B. (2002). Knowledge, Action and Pro-environmental Behaviour. *Environmental Education Research*, 8(3), 325-334.
118. Jensen, B. B. et Schnack, K. (1997). The Action Competence Approach in Environmental Education. *Environmental Education Research*, 3(2), 163-178. doi: 10.1080/1350462970030205
119. Jeziorski, A., Legardez, A. et Bader, B. (2015, 17-19 Novembre). *Les postures de futurs enseignants québécois et français au regard de l'éducation au développement durable*. Communication présentée colloque international « Les 'éducations à' : Un (des) levier(s) de transformation du système éducatif ? », Rouen.
120. Kampichler, C. et Wieland, R. (2014). Retaining the double dimension of species diversity: Application of partially ordered set theory and Hasse diagrams. *PeerJ PrePrints*, 2:e474v1 doi: 10.7287/peerj.preprints.474v1
121. Kollmuss, A. et Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239-260. doi: 10.1080/13504620220145401
122. L'Écuyer, R. (1990). Méthode de l'analyse développementale de contenu : méthode GPS et Concept de Soi. Québec: Presses de l'Université du Québec.
123. Lambshead, P. J. D., Platt, H. M. et Shaw, K. M. (2007). The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *Journal of Natural History*, 17(6), 859-874. doi: 10.1080/00222938300770671
124. Landsheere, G. (1991). *Dictionnaire de psychologie*. Paris: PUF.
125. Lange, J.-M. et Martinand, J.-L. (2010, 20-22 Octobre). *Curriculum de l'EDD : principes de conception et d'élaboration*. Communication présentée colloque International "Education au développement durable et à la biodiversité : concepts, questions vives, outils et pratiques", Digne les Bains.
126. Lange, J.-M., Trouvé, A. et Victor, P. (2007, 28-31 août). *Expression d'une opinion raisonnée dans les éducation à... : quels indicateurs ?* Communication présentée Actualité de la Recherche en Education et en Formation, Starsbourg.
127. Lange, J.-M. et Victor, P. (2006). Didactique curriculaire et « éducation à... la santé, l'environnement et au développement durable » : quelles questions, quels repères ? *Didaskalia*, 28, 85-100.
128. Lange, J. M. (2008). L'éducation au développement durable au regard des spécialités enseignantes. *ASTER*, 46, 1-27.
129. Larrère, C. (2002). Avons-nous besoin d'une éthique environnementale ? *Cosmopolitiques*, 1, 1-10.
130. Larrère, C. (2010). Les éthiques environnementales. *Natures Sciences Sociétés*, 18(4), 405-413.
131. Larrère, C. (2011). La question de l'écologie. Ou la querelle des naturalismes. *Cahiers philosophiques*, 127(4), 63-79. doi: 10.3917/caph.127.0063
132. Larrère, C. et Larrère, R. (1997). Du bon usage de la nature: pour une philosophie de l'environnement. Paris: Flammarion.
133. Le Guyader, H. (2008). La biodiversité : un concept flou ou une réalité scientifique ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 55, 7-26.
134. Lebeaume, J. (2000). L'éducation technologique. Histoires et méthodes. Paris: ESF.
135. Lecointre, G., Fortin, C., Guillot, G. et Le Louarn-Bonnet, M.-L. (2009). *Guide critique de l'évolution*. Paris: Belin.
136. Ledant, J.-P. (2007). Biodiversité : le plus n'est pas le mieux. *Silva Belgica*, 114(6), 6-8.
137. Legardez, A. et Alpe, Y. (2013). Le curriculum sournois de l'éducation au développement durable : l'exemple de l'usage de certains concepts. *Revue Francophone du développement durable*, 1, 91-108.

138. Lenoir, Y. (2001). Fondements énoncés et implicites du nouveau curriculum du primaire : à quels impacts sur la conception des manuels scolaires faut-il s'attendre ? Dans Y. Lenoir, B. Rey, G.-R. Roy & J. Lebrun (dir.), *Le manuel scolaire et l'intervention éducative : regards critiques sur ses apports et ses limites*. Sherbrooke: Éditions du CRP.
139. Leopold, A. (1948/2000). *Almanach d'un comté des sables*. Paris: Flammarion.
140. Lévêque, C. (2007). À propos de l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire : l'économie de l'environnement à l'épreuve des faits. *Natures Sciences Sociétés*, 15(1), 77-80. doi: 10.1051/nss:2007029
141. Lhoste, Y. (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. (Université de Nantes, Nantes).
142. Lhoste, Y. et Voisin, C. (2013). Repères pour l'enseignement de la biodiversité en classe de sciences. *RDST*, 7, 107-134.
143. Lotka, A. J. (1925). *Elements of Physical Biology*. : Williams and Wilkins Company.
144. Luck, G. W., Chan, K. M. A., Eser, U., Gómez-Baggethun, E., Matzdorf, B., Norton, B. et Potschin, M. B. (2012). Ethical Considerations in On-Ground Applications of the Ecosystem Services Concept. *BioScience*, 62(12), 1020-1029. doi: 10.1525/bio.2012.62.12.4
145. MacArthur, R. (1955). Fluctuations of Animal Populations and a Measure of Community Stability. *Ecology*, 36(3), 553-556.
146. Magneron, N. (2005). Les manuels scolaires dans les recherches en didactique des sciences physiques. Dans E. Bruillard (dir.), *Manuels scolaires, regards croisés*. Caen: CRDP de Basse-Normandie.
147. Marchand, P. et Ratinaud, P. (2012). L'analyse de similitude appliquée aux corpus textuels: les primaires socialistes pour l'élection présidentielle française (septembre-octobre 2011). Communication présentée Actes des 11eme Journées internationales d'Analyse statistique des Données Textuelles. JADT.
148. Maris, V. (2006). *La protection de la biodiversité : entre science, éthique et politique*. (Université de Montréal, Faculté des arts et des sciences, Montréal).
149. Maris, V. (2014). Nature à vendre Les limites des services écosystémiques. Paris: Quae.
150. Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
151. Martinand, J.-L. (2000). Matrices disciplinaires et matrices curriculaires : le cas de l'éducation technologique en France. Dans A. Durey, J. Lebeaume & P. Vérillon (dir.), *Disciplines technologiques : Intégration et/ou spécialisation – Séminaire de didactique des disciplines technologiques Cachan 1998-1999* (p. 9-22). Cachan: Association Tour 123.
152. Mayaffre, D. (2008). Quand "travail", "famille", "patrie" cooccurrent dans le discours de Nicolas Sarkozy. Étude de cas et réflexion théorique sur la cooccurrence. Communication présentée JADT 2008, Lyon.
153. Mayr, E. (1942). *Systematics and the origin of species*. New York: Columbia University Press,.
154. Mayr, E. (1975). Typological versus Population Thinking. Dans E. Sober (dir.), *Conceptual issues in Evolutionary biology Third edition (2006)* (p. 325-328). Cambridge: The MIT Press.
155. Mayr, E. (1982). The growth of biological thought: Diversity, evolution, and inheritance. London: Press of Harvard University Press.
156. McCann, K. S. (2000). The diversity–stability debate. *Nature*, 405, 228-233.
157. McDonald-Madden, E., Gordon, A., Wintle, B. A., Walker, S., Grantham, H., Carvalho, S., . . . Possingham, H. P. (2009). Environment. "True" conservation progress. *Science*, 323(5910), 43-44. doi: 10.1126/science.1164342
158. McShane, T. O., Hirsch, P. D., Trung, T. C., Songorwa, A. N., Kinzig, A., Monteferri, B., . . . O'Connor, S. (2011). Hard choices: Making trade-offs between biodiversity

- conservation and human well-being. *Biological Conservation*, 144(3), 966-972. doi: 10.1016/j.biocon.2010.04.038
159. Meinard, Y. (2010). *La biodiversité, une notion-clef du rapport cognitif à la réalité*. Communication présentée Colloque International "Education au développement durable et à la biodiversité : concepts, questions vives, outils et pratiques", Digne les Bains, France.
 160. MEN. (2004). Généralisation d'une éducation à l'environnement pour un développement durable (EEDD) - rentrée 2004. Circulaire n° 2004-110 du 8-7-2004.
 161. MEN. (2007). Seconde phase de généralisation de l'éducation au développement durable (EDD). Circulaire du 2007-077 du 29-3-2007.
 162. MEN. (2015). Instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 circulaire n° 2015-018 du 4-2-2015.
 163. Méral, P. (2012). Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, 20(1), 3-15. doi: 10.1051/nss/2012002
 164. Mercier, A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Éducation et didactique*, 2(1), 7-40.
 165. Micoud, A. (2005). La biodiversité est-elle encore naturelle ? *Ecologie & Politique*, 30(numéro spécial « La biodiversité est-elle encore naturelle ? »), 17-25.
 166. Miles, M. B. et Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives (2ème éd.)*. Bruxelles: De Boeck.
 167. Millenium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press.
 168. Mimura, M., Yahara, T., Faith, D. P., Vazquez-Dominguez, E., Colautti, R. I., Araki, H., . . . Hendry, A. P. (2017). Understanding and monitoring the consequences of human impacts on intraspecific variation. *Evol Appl*, 10(2), 121-139. doi: 10.1111/eva.12436
 169. Missa, J. (2013). Biodiversité, philosophie transhumaniste et Avenir de l'homme. *Revista Colombiana de Bioética*, 8(1), 77-88.
 170. Mori, A. S., Furukawa, T. et Sasaki, T. (2013). Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 88(2), 349-364. doi: 10.1111/brv.12004
 171. Moritz, C. C. et Potter, S. (2013). The importance of an evolutionary perspective in conservation policy planning. *Mol Ecol*, 22(24), 5969-5971. doi: 10.1111/mec.12565
 172. Morizot, B. et Orgogozo, V. (2016, 18 mai 2016). Faut-il relâcher le « gene drive » dans la nature ? Enjeux civilisationnels des « OGMs sauvages ». Repéré à <https://www.normalesup.org/~vorgogoz/gene-drive.html>
 173. Mujawamariya, D. et Guilbert, L. (2002). L'enseignement des sciences dans une perspective constructiviste : vers l'établissement du rééquilibrage des inégalités entre les sexes en sciences. *Recherches féministes*, 15(1), 25-45.
 174. Naeem, S. (1998). Species Redundancy and Ecosystem Reliability. *Conservation Biology*, 12(1), 39-45.
 175. Naeem, S., Chazdon, R., Duffy, J. E., Prager, C. et Worm, B. (2016). Biodiversity and human well-being: an essential link for sustainable development. *Proc Biol Sci*, 283(1844), 1-10. doi: 10.1098/rspb.2016.2091
 176. Nguyễn-Duy, V. et Luckerhoff, J. (2007). Constructivisme/positivisme : où en sommes-nous avec cette opposition? *Recherches qualitatives Collection hors série*, 5, 4-17.
 177. Nielsen, E. E. et Hansen, M. M. (2008). Waking the dead: the value of population genetic analyses of historical samples. *Fish and Fisheries*, 9(4), 450-461. doi: 10.1111/j.1467-2979.2008.00304.x
 178. Nimis, P. L. (2001). A tale from Bioutopia. *Nature*, 413(6851), 21. doi: 10.1038/35092637

179. ONU. (1992). Convention sur la diversité biologique.
180. Orange, C. (1997). Problèmes et modélisation en biologie; quels apprentissages pour le lycée? Paris: P.U.F.
181. Orange, C. (2000). Idées et raisons Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en Sciences de la vie et de la Terre. (Univeristé de Nantes, Nantes).
182. Orange, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 35(1), 25-42.
183. Orange, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *ASTER*, 37, 83-107.
184. Orange, C. (2005). Problème et problématisation (dir). *ASTER*, 40.
185. Orange, C. (2010). Situations forcées, recherches didactiques et développement du métier enseignant. *Recherches en éducation*, 2(HS), 73-85.
186. Orange, C. (2016, 11-14 mai 2016). *Deux fonctions du cadre épistémique dans les problématisations scientifiques*. Communication présentée 13ème Colloque PROBLEMA: Cadres et problématisation : le jeu des cadres épistémiques, psychosociologiques, etc. dans l'accès à des savoirs problématisés à l'école et en formation Université Lille 3.
187. Orange, C. et Orange, D. (1995). Géologie et Biologie: analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *ASTER*, 21, 27-49. doi: 10.4267/2042/8635
188. Orange Ravachol, D. (2003). Utilisations du temps et explications en sciences de la terre par les élèves de lycée : étude dans quelques problèmes géologiques. (Université de Nantes, Nantes).
189. Orange Ravachol, D. (2014). « Les « Éductions à » et les sciences de la nature : entre dédisciplinarisation et redisciplinarisation ». *Éducation et socialisation [Online]*, 36. doi: 10.4000/edso.903
190. Orange Ravachol, D. et Beorchia, F. (2011). Principes structurants et construction de savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Education et didactique*, 5(1), 7-28.
191. Pante, E., Schoelinck, C. et Puillandre, N. (2015). From integrative taxonomy to species description: one step beyond. *Syst Biol*, 64(1), 152-160. doi: 10.1093/sysbio/syu083
192. Paquay, L. (2007). À quoi bon un curriculum de qualité s'il ne change pas les pratiques enseignantes ? ». Dans M. Behrens (dir.), *La qualité en éducation. Pour réfléchir à la formation de demain* (p. 57-98). Québec: Presses de l'Université du Québec.
193. Pauly, D. (1995). Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(10), 430. doi: 10.1016/s0169-5347(00)89171-5
194. Pavy, B. (2004). Classes de découverte, sorties pédagogiques et voyages scolaires : au service des enfants, un projet des enseignants et des territoires : Rapport parlementaire.
195. Peet, R. K. (1974). The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 285-307.
196. Perrenoud, P. (1993). Curriculum : le formel, le réel, le caché. Dans J. Houssaye (dir.), *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui* (p. 61-76). Paris: ESF.
197. Perrenoud, P. (2000). Du curriculum aux pratiques : question d'adhésion, d'énergie ou de compétences ? Repéré à http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2000/2000_28.html
198. Pesche, D. (2014). Le Millennium Ecosystem Assessment : anatomie d'une évaluation environnementale globale. *Natures Sciences Sociétés*, 21(4), 363-372. doi: 10.1051/nss/2014001
199. Petchey, O. L. et Gaston, K. J. (2002). Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters*, 5, 402-411.

200. Peterson, G., Allen, C. et Holling, C. S. (1998). Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems*, 1, 6-18.
201. Piaget, J. et Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris: Flammarion.
202. Pichot, A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris: Gallimard.
203. Pleijel, F. et Rouse, G. W. (2000). Least-inclusive taxonomic unit: a new taxonomic concept for biology. *Proc Biol Sci*, 267(1443), 627-630. doi: 10.1098/rspb.2000.1048
204. Quessada, M. P. et Clément, P. (2007). An epistemological approach to French curricula on human origin during the 19th & 20th centuries. *Science & Education*, 16(9-10), 991-1006.
205. Ratinaud, P. (2009). IRaMuTeQ : Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires. Repéré à <http://www.iramuteq.org>
206. Reinert, A. (1983). Une méthode de classification descendante hiérarchique : application à l'analyse lexicale par contexte. *Cahiers de l'analyse des données*, 8(2), 187-198.
207. Reinert, A. (1990). Alceste une méthodologie d'analyse des données textuelles et une application: Aurelia De Gerard De Nerval. *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 26(1), 24-54. doi: 10.1177/075910639002600103
208. Richards, L. (1999). *Using NVIVO in Qualitative Research*. London: SAGE Publications Ltd.
209. Ricklefs, R. E. et Miller, G. L. (2005). *Ecologie*. Bruxelles: de boeck.
210. Ricotta, C. (2007). A semantic taxonomy for diversity measures. *Acta Biotheor*, 55(1), 23-33. doi: 10.1007/s10441-007-9008-7
211. Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., . . . Laurance, W. F. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *BioScience*. doi: 10.1093/biosci/bix125
212. Robbins, K. (2016). The Biodiversity Paradigm Shift : Adapting the Endangered Species Act to Climate Change. *Fordham Envtl. L. Rev.*, 57, 57-105.
213. Rolston III, H. (2007). La valeur dans la nature et la nature de la valeur. Dans H.-S. Afeissa (dir.), *Éthique de l'environnement. Nature, valeur, respect* (p. 153-186). Paris: Vrin.
214. Rosenfeld, J. S. (2002). Functional Redundancy in Ecology and Conservation. *Oikos*, 98(1), 156-162.
215. Rousseau, J.-J. (1762/1961). *Émile ou De l'éducation*. Paris: Garnier.
216. Routley, R. (1973, 17-23 septembre 1973). *Is There a Need for a New, an Environmental, Ethic ?* Communication présentée Proceedings of the XVth World Congress of Philosophy, Varna, Bulgarie.
217. Roy, N. et Garon, R. (2013). Etude comparative des logiciels d'aide à l'analyse de données qualitatives : de l'approche automatique à l'approche manuelle. *RECHERCHES QUALITATIVES*, 32(1), 154-180.
218. Sager, P. E. et Hasler, A. D. (1969). Species Diversity in Lacustrine Phytoplankton. I. The Components of the Index of Diversity from Shannon's Formula. *The American Naturalist*, 103(929), 51-59.
219. Sauvé, L. (1997). Pour une éducation relative à l'environnement. Montréal: Guérin.
220. Sauvé, L. (1998). L'  ducation relative à l'environnement – Entre modernité et postmodernité : Les propositions du développement durable et de l'avenir viable. Dans A. Jarnet, B. Jickling, L. Sauvé, A. Wals & P. Clarkin (dir.), *A colloquium on the future of environmental education in a postmodern world ? Proceedings of an online colloquium held on October 19th 1998* (p. 57-70).
221. Schindler, S., O'Neill, F. H., Bir  , M., Damm, C., Gasso, V., Kanka, R., . . . Wr  bka, T. (2016). Multifunctional floodplain management and biodiversity effects: a knowledge synthesis for six European countries. *Biodiversity and Conservation*, 25(7), 1349-1382. doi: 10.1007/s10531-016-1129-3

222. Schwartz, M. K., Luikart, G. et Waples, R. S. (2007). Genetic monitoring as a promising tool for conservation and management. *Trends Ecol Evol*, 22(1), 25-33. doi: 10.1016/j.tree.2006.08.009
223. Schwartz, S. (2006). Les valeurs de base de la personne : théorie, mesures et applications. *Revue française de sociologie*, 47(4), 929-968.
224. Shafer, A. B., Wolf, J. B., Alves, P. C., Bergstrom, L., Bruford, M. W., Brannstrom, I., . . . Zielinski, P. (2015). Genomics and the challenging translation into conservation practice. *Trends Ecol Evol*, 30(2), 78-87. doi: 10.1016/j.tree.2014.11.009
225. Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423, 623-656.
226. Simon, L. (2006). De la biodiversité à la diversité : les biodiversités au regard des territoires. *Annales de géographie*, 651(5), 451-467. doi: 10.3917/ag.651.0451
227. Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
228. Smith, T. B. et Bernatchez, L. (2008). Evolutionary change in human-altered environments. *Mol Ecol*, 17(1), 1-8. doi: 10.1111/j.1365-294X.2007.03607.x
229. Sober, E. (1980). Evolution, Population Thinking, and Essentialism. *Philosophy of Science*, 47(3), 350-383.
230. Soetewey, S., Duroisin, N. et Demeuse, M. (2011). Le curriculum oublié. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 56, 123-134.
231. Spasojevic, M. J., Bahlai, C. A., Bradley, B. A., Butterfield, B. J., Tuanmu, M. N., Sistla, S., . . . Suding, K. N. (2016). Scaling up the diversity-resilience relationship with trait databases and remote sensing data: the recovery of productivity after wildfire. *Glob Chang Biol*, 22(4), 1421-1432. doi: 10.1111/gcb.13174
232. Steg, L., Bolderdijk, J. W., Keizer, K. et Perlaviciute, G. (2014). An Integrated Framework for Encouraging Pro-environmental Behaviour: The role of values, situational factors and goals. *Journal of Environmental Psychology*, 38, 104-115.
233. Steg, L. et de Groot, J. I. M. (2012). Chapter: 5 Environmental values (*The Oxford handbook of environmental and conservation psychology*. Oxford: Oxford University Press.
234. Takacs, D. (1996). *The Idea of Biodiversity*. Baltimore: John Hopkins University Press.
235. Thøgersen, J. et Ölander, F. (2002). Human values and the emergence of a sustainable consumption pattern: A panel study. *Journal of economic psychology*, 23(5), 605-630.
236. Thorel, S. (2009). Curriculum prescrit et contenus enseignés : le cas de l'enseignement de la danse contemporaine au collège en contexte mixte. *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 43(1), 93-104.
237. Tichit, A., Mathonnat, C. et Landivar, D. (2014). Classification des systèmes de monnaies non-bancaires : ce que disent les données du Web. *Etudes et Documents*, 25, 1-25.
238. Tillier, S. (2005). Terminologie et nomenclatures scientifiques : l'exemple de la taxonomie zoologique. *Langages*, 157(1), 104-117. doi: 10.3917/lang.157.0104
239. Tilman, D. (2001). Functional diversity. Dans S. A. Levin (dir.), *Encyclopedia of biodiversity* (p. 109-120). San Diego: Academic Press.
240. TOB, T. Æ. d. l. B. (2010). La Bible TOB : Notes intégrales, traduction oecuménique. : Cerf.
241. Tribble, D. S.-C. et Saintonge, L. (1999). Réalité, subjectivité et crédibilité en recherche qualitative : quelques questionnements. *RECHERCHES QUALITATIVES*, 20, 113-125.
242. Tuomisto, H. (2010). A consistent terminology for quantifying species diversity? Yes, it does exist. *Oecologia*, 164(4), 853-860. doi: 10.1007/s00442-010-1812-0
243. Tutiaux-Guillon, N. (2011, 17 et 18 mars). La prise en compte des finalités de l'EDD en histoire et géographie en collège: prescriptions, posture des enseignants et manuels

- scolaires. Communication présentée Colloque internationale de didactique de l'histoire, de la géographie et de l'éducation à la citoyenneté, Lyon.
244. Van der Maren, J.-M. (2007). De la construction subjective de l'esprit à la révélation objective du réel, mais le réel est-il la réalité? . *Recherches qualitatives Collection hors série*, 5, 18-25.
 245. van der Werff, E., Steg, L. et Keizer, K. (2013). The value of environmental self-identity: The relationship between biospheric values, environmental self-identity and environmental preferences, intentions and behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 34, 55-63.
 246. Van Valen, L. (1976). Ecological Species, multispecies, and oaks. *Taxon*, 25(2-3), 233-239.
 247. Victor, P. et Lange, J.-M. (2012). Un levier pour transformer l'école. *Les Cahiers pédagogiques Hors-série numérique*, 24, 39-40.
 248. Voultsiadou, E. et Vafidis, D. (2007). Marine invertebrate diversity in Aristotle's zoology. *Contributions to Zoology*, 76(2), 103-120.
 249. Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. et Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social– ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2), 1-9.
 250. Walker, B. et Salt, D. (2006). Resilience Thinking. Sustaining Ecosystems and People in a Changing World. Washington: Island Press.
 251. Wang, S. et Loreau, M. (2016). Biodiversity and ecosystem stability across scales in metacommunities. *Ecol Lett*, 19(5), 510-518. doi: 10.1111/ele.12582
 252. Wheeler, Q. D. et Meier, R. (dir.). (2000). *Species concepts and phylogenetic theory A debate*. New York: columbia university press.
 253. Wiley, E. O. (1978). The Evolutionary Species Concept Reconsidered. *Systematic Zoology*, 27(1), 17-26.
 254. Wilson, E. O. (2000a). L'unicité du savoir. De la biologie à l'art, une même connaissance. Paris: Robert Laffont.
 255. Wilson, E. O. (2000b). L'enjeu écologique n°1. Entretien avec Olivier Postel-Vinay. *La Recherche*, 333, 14-17.
 256. Wilson, E. O. et Peter, F. (1988). *Biodiversity*. : National Academy Press.
 257. Wu, J. et Loucks, O. L. (1995). From Balance of Nature to Hierarchical Patch Dynamics: A Paradigm Shift in Ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 70(4), 439-466.

ANNEXES

Annexe 1 : Historique des éducations environnementales

L'éducation environnementale en France (1977-2004)

L'éducation relative à l'environnement (ERE) a existé en France sous la forme d'une éducation à l'environnement (EE) entre 1977 et 2004¹¹⁸. Dès le début complexe et multiforme, elle présente une forte diversité d'approches. Pour l'analyser, il faut établir une structuration des différentes approches utilisées. Girault et Sauvé (2008) proposent une classification synthétique et opérationnelle des différentes approches basée sur trois types d'ERE : éducation par et dans l'environnement, éducation au sujet de l'environnement et éducation pour l'environnement (Tableau 15). Cette classification permet de déterminer trois axes d'analyse de catégorie d'éducation relative à l'environnement¹¹⁹ qui structureront l'analyse du système éducatif français pour cette période.

¹¹⁸ Dans le contexte français, on parle d'« éducation à l'environnement » (EE) ce qui correspond au niveau international à l'« éducation relative à l'environnement (ERE) ». Selon le contexte ou national ou international évoqué, les acronymes EE ou ERE seront donc utilisés.

¹¹⁹ La terminologie désignant l'éducation relative à l'environnement (ERE) a évolué en France depuis l'apparition d'une « pédagogie de l'environnement » qui va se formaliser en « éducation à l'environnement » (1973), puis plus récemment en « éducation à l'environnement et au développement durable » (2004) et enfin en « éducation au développement durable » (2007).

Tableau 15 : Synthèse des différentes catégories d'ERE (D'après Girault et Sauvé (2008))

Catégorie d'ERE (Lucas, 1980-1981)	Sous-catégories d'ERE (Robottom et Hart, 1993)	Objectifs privilégiés	Centration sur :
Éducation au sujet de l'environnement		Acquérir des connaissances	Les savoirs académiques
Éducation pour l'environnement	Approche positiviste	Changer les comportements, adopter des gestes favorables	Le changement social
	Courant de la critique sociale	Transformer les pratiques sociales à partir d'investigations et de choix collectifs	
Éducation par et dans l'environnement	Approche interprétative	Construire un lien solide entre la personne et son environnement, développer des valeurs, favoriser l'empathie	La personne et son rapport à l'environnement

Éducation par et dans l'environnement

L'éducation par et dans l'environnement cherche à rétablir un lien entre le développement de l'élève et le milieu naturel. Cette approche part de l'idée que la crise actuelle provient de la rupture du lien entre l'Homme et la Nature. Le travail se centre sur les rapports affectifs, symboliques et cognitifs entre l'apprenant et l'environnement (Robottom & Hart, 1993 cité par Girault et Sauvé, 2008).

Dans le système scolaire, l'importance du rapport à la nature est très ancienne. Depuis les années 1970, cette démarche se manifeste par la mise en place des classes transplantées¹²⁰ qui correspondent à « des classes de vie où le milieu est le centre privilégié de toutes les activités » (circulaire du 6 mai 1971 citée par Giolitto (1982)). Ceci conduit à un essor réel du nombre d'enfants concernés par ces dispositifs entre 1953 et 1982 pour atteindre 350 000 élèves concernés en 1982.

L'accident du Drac en décembre 1995 et l'avalanche des Orres en janvier 1998 marquent l'opinion et changent la situation¹²¹ (Pavy, 2004). Il en résulte le développement de sorties de courte durée qui ne correspondent plus à l'idée de la création d'un rapport affectif lié à une immersion dans la nature¹²². À partir de la fin des années 1990, l'éducation par et dans l'environnement, qui nécessite un contact prolongé avec les milieux naturels, devient ainsi largement minoritaire au sein du système éducatif au profit de sorties de courtes durées.

¹²⁰ Les classes transplantées regroupent les classes de neige (officialisées en 1957), les classes de mer (1964), les classes vertes (1971). Ces classes transplantées prendront le nom de classes de découverte en 1982. Les classes environnement apparaissent en 1993. Dès 1999, toutes les catégories de « classes transplantées » (classes de découverte ou d'environnement (classes de neige, de mer, vertes...), classes culturelles et artistiques, linguistiques...) ont été regroupées sous le terme de « sorties scolaires avec nuitée(s) ».

¹²¹ Au-delà de l'aspect marquant des accidents, le développement d'une société qui refuse le risque pose un problème majeur à toute sortie scolaire de longue durée. Le refus du risque dans la société conduit à chercher les responsabilités de tout accident du côté des encadrants, annihilant ainsi progressivement les volontés des enseignants de s'engager dans ce type de démarche.

¹²² Ainsi en 2002, sur les 700 000 élèves qui participent à des « sorties scolaires avec nuitées », près de 55 % le font sur une période comprise entre 1 et 4 nuitées hors de chez eux et seuls 315 000 élèves partent pour au moins 5 nuitées contre plus de 500 000 en 1995.

Éducation au sujet de l'environnement

L'éducation au sujet de l'environnement est centrée sur l'acquisition de connaissances relatives à l'environnement ainsi que des habilités requises pour acquérir ces connaissances (Sauvé, 1997). Ce courant centré sur les connaissances correspond globalement à l'image majoritaire du rôle de l'école. Cependant, l'EE a, dès son origine en France, été considérée différemment des disciplines scolaires traditionnelles. On peut constater deux grandes tendances dans l'éducation au sujet de l'environnement : l'approche interdisciplinaire et la modification du travail disciplinaire. Il est intéressant de détailler un peu cet aspect. La première circulaire qui institue un enseignement dans ce domaine précise que la dimension interdisciplinaire est une composante majeure : « L'éducation à l'environnement s'appuiera [...], dans toute la mesure du possible sur un projet interdisciplinaire » (circulaire n°77-100 du 29 août 1977). En 1983, un protocole d'accord est signé entre le Ministère de l'Éducation Nationale et celui de l'Environnement qui prévoit de développer des projets généraux relatifs à l'environnement.

Un nouveau protocole est signé en 1993 (note de service n° 93-51 du 10 mars 1993). Il s'accompagne d'une réorientation des actions vers les programmes disciplinaires au détriment des actions pluridisciplinaires qui n'apparaissent plus explicitement dans ce texte contrairement aux textes de 1977 et 1983. D'un point de vue disciplinaire, on constate que l'éducation à l'environnement n'est réalisée de manière effective que par la géographie et surtout les sciences de la vie et de la terre (SVT). Concernant les actions dites transversales, l'ambition est pour le moins modeste : « chaque élève, au cours de sa scolarité obligatoire, devra avoir bénéficié une fois au moins de l'une de ces formations transversales spécifiques ».

L'éducation pour l'environnement

L'éducation pour l'environnement vise à modifier l'objet environnement. Il s'agit ici de parvenir à résoudre des problèmes environnementaux (Sauvé, 1997). Dans une approche positiviste, il s'agit de se baser sur le discours des experts pour identifier des gestes à adopter

ou des comportements à modifier et mettre en place ces modifications¹²³. En France, c'est au cours des années 1990 que se développe l'éducation pour l'environnement. Celle-ci se traduit en partie au sein du système éducatif par la mise en place d'opérations dont l'une des plus emblématiques est « *Mille défis pour ma planète*¹²⁴ ». Cette opération permet de labelliser des actions éducatives et va rencontrer un grand succès pendant plus de 25 ans. Cependant ce type d'opération, bien qu'efficace, reste très marginal par rapport à l'ensemble du système éducatif.

Parallèlement à ces opérations de grande envergure, il existe une véritable éducation pour l'environnement qui se développe au travers des pratiques de classe et qui est centrée sur des gestes à adopter : trier les déchets, nettoyer la cour, nettoyer une rivière proche de l'établissement, planter des arbres dans la cour... Cet autre versant de l'éducation pour l'environnement est difficilement quantifiable mais semble largement réalisé. Cependant la part environnementale reste parfois marginale se résumant plus à des mesures de civismes.

En 2003, un rapport de l'inspection générale de l'éducation nationale (Bonhoure et Hagnerelle, 2003) remet en cause le travail réalisé par l'éducation à l'environnement : « Ces approches restent pertinentes dans les principes, mais ne suffisent pas à fonder une véritable politique nationale d'éducation à l'environnement [...]. ». Il en résulte le lancement d'une expérimentation en 2003-2004 qui aboutit à une circulaire en 2004 (circulaire de juillet 2004 : « instructions pédagogiques : Généralisation d'une éducation à l'environnement pour un

¹²³ On distingue classiquement 2 types d'éducation pour l'environnement : l'approche positiviste et le courant de la critique sociale. Cette dernière vise l'émancipation et l'investissement social et politique dans la société. Cependant ce courant de l'éducation pour l'environnement reste très minoritaire dans le système éducatif formel.

¹²⁴ Le ministère de l'écologie et du développement durable a décidé, qu'à compter de l'année 2007, il n'y aurait plus d'appels à projets "1 000 défis pour ma planète" et d'attribution de labels au titre de ce dispositif, à des projets éducatifs.

développement durable (EEDD) »). Nous allons présenter les changements nés de cette éducation au développement durable.

L'éducation au développement durable (2004-Aujourd'hui) et l'émergence des « éducations à... »

Il faut attendre 17 ans pour que l'expression « *sustainable development* » présent dans le rapport Bruntland de 1987 apparaisse dans les textes officiels éducatifs français¹²⁵. La circulaire de 2004 parle d'éducation à l'environnement pour un développement durable (MEN, 2004). Nous allons regarder plus attentivement deux aspects des différentes circulaires depuis 2004 : le rapport de l'éducation au développement durable aux disciplines scolaires et la volonté de mettre en action les établissements scolaires.

La circulaire de 2004 insiste sur le rôle de chaque discipline mais met aussi en avant les approches fondées sur : « les croisements des apports disciplinaires » avec une « approche systémique », « les dispositifs transversaux » correspondant à des approches pluridisciplinaires et « les temps de débat » (MEN, 2004). En 2007 est publiée la circulaire « éducation au développement durable, seconde phase de généralisation de l'éducation au développement durable (EDD) » (MEN, 2007). Comme en 1993, les ambitions pluridisciplinaires sont revues à la baisse. La seule évocation claire concerne la codisciplinarité : « Sur l'ensemble des niveaux d'enseignement, l'approche codisciplinaire permet la nécessaire prise en compte de

¹²⁵ Si le terme de développement durable n'y apparaît qu'en 2004, il faut remarquer que, dès 1977, les trois piliers sur lesquels il s'appuie y sont suggérés (volet environnemental, volet social, volet économique), sans qu'on s'inscrive alors dans une perspective de développement. On peut donc considérer que dans « l'éducation à l'environnement », les éléments nécessaires à une éducation au « développement durable » sont déjà présents. Cependant, l'arrivée du développement durable est loin de n'être qu'une simple modification sémantique. Le terme développement durable porte beaucoup de valeurs sous-jacentes (Sauvé, 1998).

la complexité des situations et des problématiques liées au développement durable. » (MEN, 2007). Par ailleurs, il est fixé dans les trois objectifs de cette circulaire de parvenir à développer « plus largement l'éducation au développement durable dans les programmes d'enseignement. » (*Ibid*). Enfin la quatrième circulaire d'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (MEN, 2015) adopte un positionnement mixte, car l'éducation au développement durable « [...] se construit de façon cohérente et progressive tant à l'intérieur de chaque discipline ou champ disciplinaire (entre les différents niveaux d'enseignement) qu'entre les différentes disciplines (à chaque niveau). ». Ce positionnement est explicité plus loin :

Au-delà des programmes, les approches interdisciplinaires permettent la nécessaire prise en compte de la complexité des situations et des problématiques liées au développement durable. [...] Chaque discipline contribue, par ses contenus et ses méthodes, à construire les bases permettant de mettre en place les concepts liés au développement durable dans ses différents volets, environnemental, économique, social et culturel ; le croisement de ces apports disciplinaires permet d'en construire une approche globale. (MEN, 2015)

Concernant la mise en action des établissements, c'est en particulier la circulaire de 2007 qui se démarque par un type particulier de prise en compte de l'éducation pour l'environnement : la mise en œuvre, à l'échelle d'un établissement scolaire, d'une démarche de développement durable (E3D) (MEN, 2007). La démarche d'établissement est considérée comme devant avoir valeur d'exemple et venir conforter les enseignements :

Un "établissement en démarche de développement durable" (E3D) se caractérise par l'articulation et la mise en synergie entre les différents niveaux d'action. Le travail dans les disciplines peut s'appuyer sur des exemples, des situations, des études de cas, des problématiques identifiées dans le territoire de l'établissement, à différentes échelles, la commune, le département, la région. Ainsi la construction des contenus, des concepts précisés dans les programmes nationaux pourra se faire en mettant en parallèle une meilleure compréhension du territoire, de ses enjeux, et des caractéristiques de son développement. (MEN, 2007).

Pour coordonner le projet E3D, un comité de pilotage va devoir être créé. Sa composition devra être la plus large possible : direction, enseignants, gestionnaires, élèves, parents d'élèves, associations locales, mairie... On retrouve ici les bases d'une démarche "agenda 21" adaptée au contexte scolaire. Cette démarche a conduit à la mise en place d'une labélisation officielle E3D reposant sur un référentiel placé en annexe de la circulaire de 2015 (MEN, 2015).

Au-delà des textes institutionnels, l'intégration du développement durable apporte aussi une nouvelle vision qui va intégrer les dimensions socio-économiques dans des questions complexes et auxquelles on n'a pas de réponses connues à l'avance. Il fait aussi entrer dans la question environnementale la mise en action car elle vise à construire des acteurs engagés sur les questions environnementales et socio-économiques. Cette approche constitue une véritable innovation car il ne s'agit plus de mettre en place ponctuellement des actions environnementales mais d'intégrer les concepts de l'enseignement dans une mise en action locale.

Annexe 2 : Les différents niveaux curriculaires

Nous distinguerons ainsi quatre niveaux dans la construction curriculaire (Perrenoud, 1993) à savoir le curriculum prescrit, le curriculum potentiel, le curriculum enseigné et le curriculum réalisé :

- Le curriculum prescrit (aussi appelé curriculum formel, manifeste ou officiel) est le curriculum formulé dans les textes officiels, c'est celui des parcours scolaires prévus, avec des disciplines scolaires auxquelles sont alloués de horaires.
- Le curriculum potentiel n'est ni le curriculum officiel prescrit ni le curriculum réellement mis en pratique en classe mais un niveau intermédiaire qui résulte des discussions et de négociations entre enseignants (Magneron, 2005; Perrenoud, 2000). C'est à ce niveau que se situent les manuels scolaires qui apportent une proposition de mise en œuvre des programmes, mais pas un mode d'emploi complet pour la mise en œuvre en salle de classe (Lenoir, 2001). Le curriculum enseigné correspond au curriculum mis en œuvre par les enseignants en classe. De nombreux facteurs peuvent expliquer la différence entre ce curriculum enseigné et le curriculum prescrit (Perrenoud, 1993).
- Enfin, le curriculum réalisé ou maîtrisé désigne ce que les apprenants ont effectivement acquis du curriculum formel. Les épreuves d'évaluation mises en place permettent de déterminer en partie cet apprentissage.

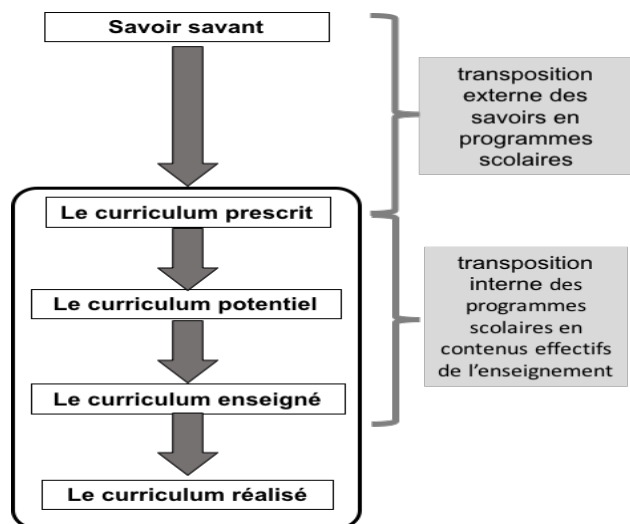


Figure 26 : Différents niveaux curriculaires définis dans le cadre d'une étude didactique des curriculums. Les aspects liés à la transposition didactique sont indiqués dans les carrés grisés sur le côté droit.

Annexe 3 : Fichier de données issus du codage des extraits de programmes abordant la biodiversité (du cycle 3 à la Terminale S). Le codage a été réalisé avec Nvivo.

BIOTECHNOLOGIES

Éléments internes\\CYCLE4CROISEMENT2 - § 1 référence encodée [Couverture 45,80%]

Référence 1 - Couverture 45,80%

En lien avec la technologie, la chimie, les mathématiques. Biotechnologies, biomimétisme et innovations technologiques ; réparation du vivant, l'être humain augmenté ; handicap ; industrie du médicament ; industrie agro-alimentaire ; biotechnologies pour l'environnement (eau, déchets, carburants).

Éléments internes\\CYCLE4SVT3 - § 1 référence encodée [Couverture 15,86%]

Référence 1 - Couverture 15,86%

Ce thème se prête aussi aux applications biotechnologiques, lorsque l'élève réalise des cultures de cellules ou étudie des protocoles d'obtention d'organismes génétiquement modifiés, de lignées de cellules (sources de cellules mères, croissance, conservation, normes éthiques) ou de clonage.

Éléments internes\\TERMINALES2 - § 5 références encodées [Couverture 28,23%]

Référence 1 - Couverture 7,99%

L'utilisation des plantes par l'Homme est une très longue histoire, qui va des pratiques empiriques les plus anciennes à la mise en œuvre des technologies les plus modernes.

Référence 2 - Couverture 2,74%

Bilan : sélection génétique des plantes ; génie génétique.

Référence 3 - Couverture 6,89%

Les techniques de croisement permettent d'obtenir de nouvelles plantes qui n'existaient pas dans la nature (nouvelles variétés, hybrides, etc.).

Référence 4 - Couverture 4,76%

Les techniques du génie génétique permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées.

Référence 5 - Couverture 5,85%

Il s'agit de montrer les différentes modalités d'action humaine sur les caractéristiques génétiques des plantes cultivées.

CLASSIFICATION DU VIVANT

Éléments internes\\CYCLE4SVT2 - § 1 référence encodée [Couverture 6,78%]

Référence 1 - Couverture 6,78%

la classification du vivant,

Éléments internes\\CYCLE4SVT3 - § 4 références encodées [Couverture 16,17%]

Référence 1 - Couverture 4,31%

Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution.

Référence 2 - Couverture 2,18%

Caractères partagés et classification.

Référence 3 - Couverture 4,62%

Les grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, leur parenté et leur évolution.

Référence 4 - Couverture 5,06%

Cette thématique est l'occasion d'utiliser des outils de détermination et de classification.

Éléments internes\\SECONDESVT1 - § 4 références encodées [Couverture 13,10%]

Référence 1 - Couverture 5,14%

Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu.

Référence 2 - Couverture 2,94%

Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants

Référence 3 - Couverture 1,70%

Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune.

Référence 4 - Couverture 3,32%

Limites. Les caractères communs aux vertébrés non cités dans les mots clés n'ont pas à être mémorisés.

DÉFINITION DE L'ESPÈCE

Éléments internes\\TERMINALS1 - § 10 références encodées [Couverture 45,61%]

Référence 1 - Couverture 7,29%

La définition de l'espèce est délicate et peut reposer sur des critères variés qui permettent d'apprécier le caractère plus ou moins distinct de deux populations (critères phénotypiques, interfécondité, etc.).

Référence 2 - Couverture 2,46%

Le concept d'espèce s'est modifié au cours de l'histoire de la biologie.

Référence 3 - Couverture 4,35%

Une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolés génétiquement des autres populations.

Référence 4 - Couverture 3,95%

Une population d'individus identifiée comme constituant une espèce n'est définie que durant un laps de temps fini.

Référence 5 - Couverture 4,03%

On dit qu'une espèce disparaît si l'ensemble des individus concernés disparaît ou cesse d'être isolé génétiquement.

Référence 6 - Couverture 2,70%

Une espèce supplémentaire est définie si un nouvel ensemble s'individualise.

Référence 7 - Couverture 7,01%

Dans la continuité de l'approche des classes précédentes, il convient de montrer que l'espèce est une réalité statistique, collective et que c'est dans cette optique que la spéciation peut être envisagée.

Référence 8 - Couverture 8,46%

Limites. Il ne s'agit pas de conduire à une définition incontestable de l'espèce ou de la spéciation, mais simplement de montrer que ce concept dont on ne peut aujourd'hui se passer pour décrire le monde vivant est pourtant d'une nature très délicate.

Référence 9 - Couverture 2,98%

Analyser des informations relatives à la définition des limites d'une espèce vivante.

Référence 10 - Couverture 2,38%

Analyser des exemples d'hybrides interspécifiques fertiles ou non.

ÉCOLOGIE

Éléments internes\\CYCLE3_AVERIF - § 7 références encodées [Couverture 57,49%]

Référence 1 - Couverture 5,57%

Répartition des êtres vivants et peuplement des milieux

Référence 2 - Couverture 5,46%

Décrire un milieu de vie dans ses diverses composantes.

Référence 3 - Couverture 5,69%

Relier le peuplement d'un milieu et les conditions de vie.

Référence 4 - Couverture 9,76%

Modification du peuplement en fonction des conditions physicochimiques du milieu et des saisons.

Référence 5 - Couverture 16,03%

Écosystèmes (milieu de vie avec ses caractéristiques et son peuplement) ; conséquences de la modification d'un facteur physique ou biologique sur l'écosystème.

Référence 6 - Couverture 3,83%

La biodiversité, un réseau dynamique.

Référence 7 - Couverture 11,15%

Identifier la nature des interactions entre les êtres vivants et leur importance dans le peuplement des milieux.

Éléments internes\\CYCLE4SVT3 - § 1 référence encodée [Couverture 6,49%]

Référence 1 - Couverture 6,49%

Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation; diversité des relations interspécifiques.

Éléments internes\\SECONDESVT1 - § 1 référence encodée [Couverture 4,02%]

Référence 1 - Couverture 4,02%

Limites. L'écosystème est seulement défini comme l'ensemble constitué par un milieu et les êtres vivants qui l'habitent.

MESURE DE LA BIODIVERSITÉ

Éléments internes\CYCLE4SVT2 - § 1 référence encodée [Couverture 9,76%]

Référence 1 - Couverture 9,76%

la biodiversité (diversité des espèces),

Éléments internes\PREMIERES2 - § 1 référence encodée [Couverture 9,00%]

Référence 1 - Couverture 9,00%

Recenser et exploiter des informations permettant de caractériser la diversité allélique d'une population.

Éléments internes\SECONDESVT1 - § 3 références encodées [Couverture 11,48%]

Référence 1 - Couverture 4,25%

La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces.

Référence 2 - Couverture 5,14%

Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu.

Référence 3 - Couverture 2,09%

La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité

Éléments internes\\TERMINALS1 - § 1 référence encodée [Couverture 2,58%]

Référence 1 - Couverture 2,58%

La diversité du vivant est en partie décrite comme une diversité d'espèces.

POSITIONNEMENT ÉTHIQUE

Éléments internes\\CYCLE4CROISEMENT2 - § 1 référence encodée [Couverture 54,20%]

Référence 1 - Couverture 54,20%

En lien avec la géographie, les langues vivantes, le français... Biodiversité, préservation et utilisation de la biodiversité ; sciences participatives ; biodiversité locale, biodiversité mondiale ; rapport à la biodiversité dans différentes cultures ; traçabilité des pêches, du bois ; impacts du changement climatique ; mondialisation et espèces invasives.

Éléments internes\\CYCLE4ENTETESVT - § 3 références encodées [Couverture 37,96%]

Référence 1 - Couverture 6,86%

Adopter un comportement éthique et responsable

Référence 2 - Couverture 17,56%

Fonder ses choix de comportement responsable vis-à-vis de sa santé ou de l'environnement sur des arguments scientifiques.

Référence 3 - Couverture 13,55%

Distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une idée et ce qui constitue un savoir scientifique

Éléments internes\\CYCLE4SVT1 - § 1 référence encodée [Couverture 9,26%]

Référence 1 - Couverture 9,26%

Proposer des argumentations sur les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices/ nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement.

Éléments internes\\PREMIERES1 - § 1 référence encodée [Couverture 7,37%]

Référence 1 - Couverture 7,37%

Limites. Il ne s'agit pas d'enseigner les choix qui doivent être faits, mais d'introduire les bases scientifiques nécessaires à une réflexion éclairée sur les choix.

Éléments internes\\SECONDEENTETESVT - § 1 référence encodée [Couverture 8,59%]

Référence 1 - Couverture 8,59%

A titre d'exemple, on peut citer les évocations littéraires de la biodiversité ou sa représentation picturale; la statuaire du corps humain au cours d'un exercice sportif.

Éléments internes\\TERMINALES2 - § 1 référence encodée [Couverture 10,28%]

Référence 1 - Couverture 10,28%

Limites. Les éléments scientifiques introduits ici permettent un débat sur l'usage de telle ou telle méthode, mais il n'entre pas dans les objectifs de l'enseignement scientifique de trancher, à lui seul, la controverse.

PROTECTION OU GESTION DE LA BIODIVERSITÉ

Éléments internes\\CYCLE3_AVERIF - § 2 références encodées [Couverture 23,81%]

Référence 1 - Couverture 10,22%

Identifier quelques impacts humains dans un environnement (aménagement, impact technologique...).

Référence 2 - Couverture 13,59%

Aménagements de l'espace par les humains et contraintes naturelles ; impacts technologiques positifs et négatifs sur l'environnement.

Éléments internes\\CYCLE3_AVERIF2 - § 3 références encodées [Couverture 72,95%]

Référence 1 - Couverture 27,81%

Relier les besoins de l'être humain, l'exploitation des ressources naturelles et les impacts à prévoir et gérer (risques, rejets, valorisations, épuisement des stocks).

Référence 2 - Couverture 25,33%

Exploitation raisonnée et utilisation des ressources (eau, pétrole, charbon, minerais, biodiversité, sols, bois, roches à des fins de construction...).

Référence 3 - Couverture 19,81%

Prévoir de travailler à différentes échelles de temps et d'espace, en poursuivant l'éducation au développement durable.

Éléments internes\\CYCLE4CROISEMENT - § 1 référence encodée [Couverture 84,20%]

Référence 1 - Couverture 84,20%

En lien avec l'histoire et la géographie ; la technologie ; la physique-chimie; le français et les langues vivantes et régionales ; les arts plastiques. Les paysages qui m'entourent, composantes géologiques et biologiques d'un paysage// composantes naturelles et artificielles ; l'exploitation des ressources par l'être humain (eau, matériaux, ressources énergétiques, sol et biodiversité cultivée) modèle les paysages ; paysagisme et urbanisme (réhabilitation de sites industriels, les friches et jardins dans la ville...) ;

Éléments internes\\CYCLE4CROISEMENT2 - § 1 référence encodée [Couverture 54,20%]

Référence 1 - Couverture 54,20%

En lien avec la géographie, les langues vivantes, le français... Biodiversité, préservation et utilisation de la biodiversité ; sciences participatives ; biodiversité locale, biodiversité mondiale ; rapport à la biodiversité dans différentes cultures ; traçabilité des pêches, du bois ; impacts du changement climatique ; mondialisation et espèces invasives.

Éléments internes\\CYCLE4ENTETESVT - § 3 références encodées [Couverture 51,67%]

Référence 1 - Couverture 6,86%

Adopter un comportement éthique et responsable

Référence 2 - Couverture 16,89%

Identifier les impacts (bénéfices et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles.

Référence 3 - Couverture 27,93%

Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé.

Éléments internes\\CYCLE4SVT1 - § 7 références encodées [Couverture 91,86%]

Référence 1 - Couverture 8,38%

Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain, en lien avec quelques grandes questions de société.

Référence 2 - Couverture 11,15%

L'exploitation de quelques ressources naturelles par l'être humain (eau, sol, pétrole, charbon, bois, ressources minérales, ressources halieutiques, ...) pour ses besoins en nourriture et ses activités quotidiennes.

Référence 3 - Couverture 5,31%

Comprendre et expliquer les choix en matière de gestion de ressources naturelles à différentes échelles.

Référence 4 - Couverture 8,55%

Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales.

Référence 5 - Couverture 9,26%

Proposer des argumentations sur les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices/ nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement.

Référence 6 - Couverture 10,86%

Quelques exemples d'interactions entre les activités humaines et l'environnement, dont l'interaction être humain - biodiversité (de l'échelle d'un écosystème local et de sa dynamique jusqu'à celle de la planète).

Référence 7 - Couverture 38,35%

Cette thématique est l'occasion de faire prendre conscience à l'élève des conséquences de certains comportements et modes de vie (exemples : pollution des eaux, raréfaction des ressources en eau dans certaines régions, combustion des ressources fossiles et réchauffement climatique, érosion des sols, déforestation, disparitions d'espèces animales et végétales, etc.). Quelques exemples judicieusement choisis permettent aux élèves d'identifier des solutions de préservation ou de restauration de l'environnement compatibles avec des modes de vie qui cherchent à mieux respecter les équilibres naturels (énergies renouvelables, traitement des eaux, transports non polluants, gestion des déchets, aménagements urbains, optimisation énergétique). C

Éléments internes\\PREMIERES1 - § 3 références encodées [Couverture 24,19%]

Référence 1 - Couverture 7,73%

Le but de cette partie est de montrer en quoi les pratiques alimentaires individuelles répétées collectivement peuvent avoir des conséquences environnementales globales.

Référence 2 - Couverture 9,82%

Recenser, extraire et exploiter des informations, utiliser des bases de données et des logiciels pour comprendre :

- l'impact global des pratiques alimentaires ;
- la gestion de populations et/ou de peuplements naturels ;

Référence 3 - Couverture 6,64%

Recenser et comparer différentes pratiques culturelles, du point de vue de leur durabilité (bilan carbone, bilan énergétique, biodiversité, etc.).

Éléments internes\\SECONDEENTETESVT - § 1 référence encodée [Couverture 8,00%]

Référence 1 - Couverture 8,00%

La représentation d'animaux ou végétaux actuels ou disparus met en scène un dialogue entre les connaissances scientifiques et les pratiques artistiques; etc.

Éléments internes\\SECONDESVT1 - § 3 références encodées [Couverture 14,61%]

Référence 1 - Couverture 3,44%

La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.

Référence 2 - Couverture 8,15%

Capacités et attitudes Manipuler, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour : - repérer les divers aspects de la biodiversité dans une situation donnée ; - mettre en évidence l'influence de l'Homme sur la biodiversité.

Référence 3 - Couverture 3,01%

Prendre conscience de la responsabilité humaine face à l'environnement et au monde vivant.

Éléments internes\\SECONDESVT2 - § 4 références encodées [Couverture 25,17%]

Référence 1 - Couverture 8,31%

Elle entre en concurrence avec la biodiversité naturelle. La biomasse végétale produite par l'agriculture est une source de nourriture mais aussi une source de combustibles ou d'agrocarburants.

Référence 2 - Couverture 1,94%

Ces deux productions entrent en concurrence.

Référence 3 - Couverture 2,89%

Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement.

Référence 4 - Couverture 12,04%

Manifester un intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société à l'échelle planétaire. Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations afin de comprendre comment l'homme intervient sur les flux naturels de biomasse et les détourne partiellement à son profit

Éléments internes\\TERMINALES2 - § 1 référence encodée [Couverture 7,11%]

Référence 1 - Couverture 7,11%

Sans chercher l'exhaustivité, il s'agit de montrer que l'Homme agit sur le génome des plantes cultivées et donc intervient sur la biodiversité végétale.

THÉORIE DE L'ÉVOLUTION

Éléments internes\\CYCLE4SVT2 - § 1 référence encodée [Couverture 7,32%]

Référence 1 - Couverture 7,32%

l'évolution des êtres vivants.

Éléments internes\\CYCLE4SVT3 - § 8 références encodées [Couverture 49,69%]

Référence 1 - Couverture 4,31%

Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution.

Référence 2 - Couverture 4,62%

Les grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, leur parenté et leur évolution.

Référence 3 - Couverture 4,37%

Expliquer sur quoi reposent la diversité et la stabilité génétique des individus.

Référence 4 - Couverture 5,56%

Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement.

Référence 5 - Couverture 4,49%

Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité.

Référence 6 - Couverture 4,56%

Diversité génétique au sein d'une population ; hérédité, stabilité des groupes.

Référence 7 - Couverture 3,00%

ADN, mutations, brassage, gène, méiose et fécondation.

Référence 8 - Couverture 18,79%

Ce thème se prête notamment :
à l'histoire des sciences, lorsque l'élève situe dans son contexte historique et technique l'évolution des connaissances sur la reproduction, la génétique ou l'évolution ;
aux observations à différentes échelles pour la constitution des organismes étudiés et la diversité du vivant (dont les bactéries et les champignons).

Éléments internes\\PREMIERES2 - § 1 référence encodée [Couverture 7,94%]

Référence 1 - Couverture 7,94%

Les mutations sont la source aléatoire de la diversité des allèles, fondement de la biodiversité.

Éléments internes\\SECONDEENTETESVT2 - § 1 référence encodée [Couverture 24,64%]

Référence 1 - Couverture 24,64%

Dans le thème « La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant », selon une logique d'approfondissement des acquis du collège, on étudie successivement les caractéristiques de la Terre qui permettent de comprendre que la vie s'y développe, quelques originalités de fonctionnement et d'organisation du vivant et quelques idées sur la biodiversité et son origine évolutive.

Éléments internes\\SECONDESVT1 - § 9 références encodées [Couverture 33,08%]

Référence 1 - Couverture 6,57%

L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant : les espèces actuelles représentent une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie.

Référence 2 - Couverture 3,59%

Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.

Référence 3 - Couverture 2,09%

La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité

Référence 4 - Couverture 2,63%

La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles.

Référence 5 - Couverture 2,78%

Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible.

Référence 6 - Couverture 3,32%

La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces.

Référence 7 - Couverture 5,41%

Limites. La compréhension de la notion de dérive se limite à une première appréhension qualitative, sans formalisme mathématique, et sans en étudier les variantes.

Référence 8 - Couverture 2,86%

Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique.

Référence 9 - Couverture 3,83%

Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques, dérive génétique et évolution des espèces.

Éléments internes\\TERMINALES2 - § 4 références encodées [Couverture 26,59%]

Référence 1 - Couverture 7,11%

Sans chercher l'exhaustivité, il s'agit de montrer que l'Homme agit sur le génome des plantes cultivées et donc intervient sur la biodiversité végétale.

Référence 2 - Couverture 10,01%

La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées a souvent retenu

(volontairement ou empiriquement) des caractéristiques génétiques différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages.

Référence 3 - Couverture 6,62%

Une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents ; c'est une forme de biodiversité.

Référence 4 - Couverture 2,84%

Comparer une plante cultivée et son ancêtre naturel supposé.

Éléments internes\\TERMINALS1 - § 8 références encodées [Couverture 40,37%]

Référence 1 - Couverture 2,74%

La biodiversité a été définie et présentée comme produit et étape de l'évolution

Référence 2 - Couverture 11,08%

Dans les classes précédentes, il a été montré que des individus porteurs de diverses combinaisons génétiques peuvent différer par leurs potentiels reproducteurs (plus grande attirance sexuelle exercée sur le partenaire ; meilleure résistance à un facteur du milieu, aux prédateurs ; meilleur accès à la nourriture, etc.).

Référence 3 - Couverture 4,67%

Cette influence, associée à la dérive génétique, conduit à une modification de la diversité génétique des populations au cours du temps.

Référence 4 - Couverture 5,16%

Sous l'effet de la pression du milieu, de la concurrence entre êtres vivants et

du hasard, la diversité des populations change au cours des générations.

Référence 5 - Couverture 4,11%

L'évolution est la transformation des populations qui résulte de ces différences de survie et du nombre de descendants.

Référence 6 - Couverture 5,96%

On insistera sur l'existence d'une survie différentielle et sur la diversité de l'effectif des descendants des individus qui conduisent à une modification des populations.

Référence 7 - Couverture 2,66%

Sélection naturelle et dérive génétique sont replacées dans ce cadre global.

Référence 8 - Couverture 3,99%

Analyser des exemples de spéciation dans des contextes et selon des mécanismes variés à partir de documents fournis.

Annexe 4 : Fichier de données contenant les extraits de programmes abordant la biodiversité (du cycle 3 à la Terminale S) utilisé pour le traitement des données avec IRaMuTeQ

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_enjeux_environnement

Répartition des êtres vivants et peuplement des milieux

Décrire un milieu de vie dans ses diverses composantes.

Interactions des organismes vivants entre eux et avec leur environnement.

Relier le peuplement d'un milieu et les conditions de vie.

Modification du peuplement en fonction des conditions physicochimiques du milieu et des saisons.

Écosystèmes (milieu de vie avec ses caractéristiques et son peuplement) ; conséquences de la modification d'un facteur physique ou biologique sur l'écosystème.

La biodiversité, un réseau dynamique.

Identifier la nature des interactions entre les êtres vivants et leur importance dans le peuplement des milieux.

Identifier quelques impacts humains dans un environnement (aménagement, impact technologique...).

Aménagements de de l'espace par les humains et contraintes naturelles ; impacts technologiques positifs et négatifs sur l'environnement.

Travailler à partir de l'environnement proche et par des observations lors de sorties.

Utilisation de documents.

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_enjeux_environnement

Suivre et décrire le devenir de quelques matériaux de l'environnement proche.

Relier les besoins de l'être humain, l'exploitation des ressources naturelles et les impacts à prévoir et gérer (risques, rejets, valorisations, épuisement des stocks).

Exploitation raisonnée et utilisation des ressources (eau, pétrole, charbon, minerais, biodiversité, sols, bois, roches à des fins de construction...).

Travailler à travers des recherches documentaires et d'une ou deux enquêtes de terrain. Prévoir de travailler à différentes échelles de temps et d'espace, en poursuivant l'éducation au développement durable.

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_G PartieProg_Entete
*SousPartieProg_EnteteSVT

CYCLE 4 SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Adopter un comportement éthique et responsable

Identifier les impacts (bénéfices et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles.

Fonder ses choix de comportement responsable vis-à-vis de sa santé ou de l'environnement sur des arguments scientifiques.

Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé.

Participer à l'élaboration de règles de sécurité et les appliquer au laboratoire et sur le terrain

Distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une idée et ce qui constitue un savoir scientifique

Domaine du socle : 3, 4, 5

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_planeteterreenvironnementetactionhomme

Connaissances et compétences associés

Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain, en lien avec quelques grandes questions de société.

L'exploitation de quelques ressources naturelles par l'être humain (eau, sol, pétrole, charbon, bois, ressources minérales, ressources halieutiques, ...) pour ses besoins en nourriture et ses activités quotidiennes.

Comprendre et expliquer les choix en matière de gestion de ressources naturelles à différentes échelles.

Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales.

Proposer des argumentations sur les impacts générés par le rythme, la nature (bénéfices/nuisances), l'importance et la variabilité des actions de l'être humain sur l'environnement.

Quelques exemples d'interactions entre les activités humaines et l'environnement, dont l'interaction être humain - biodiversité (de l'échelle d'un écosystème local et de sa dynamique jusqu'à celle de la planète).

Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève

Cette thématique est l'occasion de faire prendre conscience à l'élève des conséquences de certains comportements et modes de vie (exemples : pollution des eaux, raréfaction des ressources

en eau dans certaines régions, combustion des ressources fossiles et réchauffement climatique, érosion des sols, déforestation, disparitions d'espèces animales et végétales, etc.).

Quelques exemples judicieusement choisis permettent aux élèves d'identifier des solutions de préservation ou de restauration de l'environnement compatibles avec des modes de vie qui cherchent à mieux respecter les équilibres naturels (énergies renouvelables, traitement des eaux, transports non polluants, gestion des déchets, aménagements urbains, optimisation énergétique). Cette thématique contribue tout particulièrement à l'EMC.

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_levivantetsevolution

Attendus de fin de cycle

Expliquer l'organisation du monde vivant, sa structure et son dynamisme à différentes échelles d'espace et de temps.

Mettre en relation différents faits et établir des relations de causalité pour expliquer :

la nutrition des organismes,

la dynamique des populations,

la classification du vivant,

la biodiversité (diversité des espèces),

la diversité génétique des individus,

l'évolution des êtres vivants.

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps

*SousPartieProg_levivantetsevolution

Connaissances et compétences associées

Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution.

Caractères partagés et classification.

Les grands groupes d'êtres vivants, dont Homo sapiens, leur parenté et leur évolution.

Expliquer sur quoi reposent la diversité et la stabilité génétique des individus.

Expliquer comment les phénotypes sont déterminés par les génotypes et par l'action de l'environnement.

Relier, comme des processus dynamiques, la diversité génétique et la biodiversité.

Diversité et dynamique du monde vivant à différents niveaux d'organisation; diversité des relations interspécifiques.

Diversité génétique au sein d'une population ; hérédité, stabilité des groupes.

ADN, mutations, brassage, gène, méiose et fécondation.

Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève

Ce thème se prête notamment :

à l'histoire des sciences, lorsque l'élève situe dans son contexte historique et technique l'évolution des connaissances sur la reproduction, la génétique ou l'évolution ;

aux observations à différentes échelles pour la constitution des organismes étudiés et la diversité du vivant (dont les bactéries et les champignons). On privilégie des observations de terrain pour recueillir des données, les organiser et les traiter à un niveau simple, ainsi que la mise en oeuvre de démarches expérimentales. Cette thématique est l'occasion d'utiliser des outils de détermination et de classification. Ce thème se prête aussi aux applications biotechnologiques, lorsque l'élève réalise des cultures de cellules ou étudie des protocoles d'obtention d'organismes génétiquement modifiés, de lignées de cellules (sources de cellules mères, croissance, conservation, normes éthiques) ou de clonage. Utiliser des connaissances pour évaluer et argumenter la possibilité et les formes de vie sur d'autres planètes

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_Optio *PartieProg_Entete

*SousPartieProg_Croisementseenseigntransitionecologique

En lien avec l'histoire et la géographie ; la technologie ; la physique-chimie; le français et les langues vivantes et régionales ; les arts plastiques. Les paysages qui m'entourent, composantes

géologiques et biologiques d'un paysage// composantes naturelles et artificielles ; l'exploitation des ressources par l'être humain (eau, matériaux, ressources énergétiques, sol et biodiversité cultivée) modèle les paysages ; paysagisme et urbanisme (réhabilitation de sites industriels, les friches et jardins dans la ville...) ; le rapport à l'eau dans différentes cultures ; histoire des techniques d'approvisionnement en eau.

**** *niv_Pcoll *Ref_2 *Annee_2016 *Disc_SVT *Statut_Optio *PartieProg_Entete
*SousPartieProg_Croisementseenseigntransitionecologique

En lien avec la géographie, les langues vivantes, le français... Biodiversité, préservation et utilisation de la biodiversité ; sciences participatives ; biodiversité locale, biodiversité mondiale ; rapport à la biodiversité dans différentes cultures ; traçabilité des pêches, du bois ; impacts du changement climatique ; mondialisation et espèces invasives.

En lien avec la technologie, la chimie, les mathématiques. Biotechnologies, biomimétisme et innovations technologiques ; réparation du vivant, l'être humain augmenté ; handicap ; industrie du médicament ; industrie agro-alimentaire ; biotechnologies pour l'environnement (eau, déchets, carburants).

**** *niv_lyc *Ref_1 *Annee_2010 *Disc_SVT *Statut_G *PartieProg_Entete
*SousPartieProg_EnteteSVT

3. Les sciences de la vie et de la Terre, discipline d'ouverture

Les sciences de la vie et de la Terre sont une discipline ouverte sur les grands problèmes de la société contemporaine, comme le montrent les intitulés du programme eux-mêmes.

Les préoccupations éducatives

Les nombreuses connexions avec les objectifs éducatifs transversaux (santé, environnement, etc.) seront mises en évidence le plus souvent possible.

La convergence avec d'autres disciplines

Au-delà de la parenté avec les autres sciences expérimentales que sont les sciences physiques et chimiques, les programmes de sciences de la vie et de la Terre fournissent l'occasion d'interactions avec d'autres disciplines, notamment avec les mathématiques (par la formalisation utilisée et la sensibilisation à une approche statistique), la géographie (thèmes

de l'énergie et de l'eau) et l'EPS (thème activité physique).

L'histoire des arts

En continuité avec les préconisations contenues dans les programmes de collège, il est bon de souligner que les sciences de la vie et de la Terre peuvent être l'occasion d'intéressantes relations avec l'enseignement d'histoire des arts. Les professeurs choisiront, en cohérence avec le mode d'organisation de l'enseignement de l'histoire des arts dans l'établissement, les modalités d'interactions qui leur conviennent.

Plusieurs sujets abordés dans le programme s'y prêtent, bien que le choix soit fait de ne pas le souligner au cas par cas le long du déroulé du programme afin de laisser toute liberté de mise en œuvre aux équipes. A titre d'exemple, on peut citer les évocations littéraires de la biodiversité ou sa représentation picturale; la statuaire du corps humain au cours d'un exercice sportif. Les évocations littéraires de la vie des mineurs renseignent sur des conditions d'exploitations souvent révolues aujourd'hui. La représentation d'animaux ou végétaux actuels ou disparus met en scène un dialogue entre les connaissances scientifiques et les pratiques artistiques; etc.

**** *niv_lyc *Ref_1 *Annee_2010 *Disc_SVT *Statut_G *PartieProg_Entete
*SousPartieProg_EnteteSVT

Préambule

II - Les sciences de la vie et de la Terre en seconde

En classe de seconde, les trois thématiques présentées dans le préambule général pour le lycée se déclinent ainsi.

Dans le thème « La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant », selon une logique d'approfondissement des acquis du collège, on étudie successivement les caractéristiques de la Terre qui permettent de comprendre que la vie s'y développe, quelques originalités de fonctionnement et d'organisation du vivant et quelques idées sur la biodiversité et son origine évolutive.

Pour aborder le thème des « enjeux planétaires contemporains » on s'intéresse à certains aspects de la question énergétique ainsi qu'au défi que représente, en matière de ressources en sol, le développement d'une agriculture qui répond aux besoins de l'humanité. Enfin le thème « corps humain et santé » est envisagé dans le cadre d'un exercice physique.

La liberté pédagogique du professeur est particulièrement grande en classe de seconde : il peut ainsi adapter ses pratiques et ses choix à la diversité des publics et des conditions locales. Il est souhaitable que les thèmes du programme soient abordés d'une manière suffisamment équilibrée. En revanche, dans chaque thème, le professeur est libre, tout en abordant la globalité des contenus, de choisir l'ordre des apprentissages et de déterminer les aspects sur lesquels il choisit de proposer une argumentation plus approfondie, en s'appuyant sur les méthodes, notamment manipulatoires et expérimentales, qu'il choisit de mettre en œuvre.

**** *niv_ lyc *Ref_1 *Annee_2008 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_vieevolutionvivantbiodiversitérésultatetapeevol

Connaissances

La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces. L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant : les espèces actuelles représentent une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie. La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.

Objectifs et mots clés. On enrichit la notion de biodiversité, à l'occasion d'une sortie ou d'un travail de laboratoire. (Collège. Détermination d'espèces vivantes, première approche de la biodiversité, biodiversités anciennes.) [Limites. L'écosystème est seulement défini comme l'ensemble constitué par un milieu et les êtres vivants qui l'habitent.]

Capacités et attitudes

Manipuler, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour : - repérer les divers aspects de la biodiversité dans une situation donnée ; - mettre en évidence l'influence de l'Homme sur la biodiversité.

Utiliser des outils simples de détermination d'espèces végétales ou animales (actuelles ou fossiles) pour mettre en évidence la biodiversité d'un milieu.

Prendre conscience de la responsabilité humaine face à l'environnement et au monde vivant.

Connaissances

Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune. Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.

Objectifs et mots clés. Polarité, symétrie, squelette osseux, vertèbre. (Collège. Classification

en groupes emboîtés ; arbre phylogénétique.)

[Limites. Les caractères communs aux vertébrés non cités dans les mots clés n'ont pas à être mémorisés.]

Capacités et attitudes

Mettre en œuvre un protocole de dissection pour comparer l'organisation de quelques vertébrés.

Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations sur l'organisation de quelques vertébrés actuels et/ou fossiles.

Connaissances

La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité. La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces.

(Collège. Première approche de la variation, crise biologique ; sélection par le milieu des formes les plus adaptées.) [Limites. La compréhension de la notion de dérive se limite à une première appréhension qualitative, sans formalisme mathématique, et sans en étudier les variantes. Aucun approfondissement n'est attendu.] Convergences. Mathématiques : simulation, tableur, échantillonnage.

Capacités et attitudes

Manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique.

Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques, dérive génétique et évolution des espèces.

**** *niv_ lyc *Ref_1 *Annee_2008 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_enjeuxplanetnrjsolLesolpatrimoinedurable

Connaissances

Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse. L'agriculture a besoin pour cela de sols cultivables et d'eau : deux ressources très inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. Elle entre en concurrence avec la biodiversité naturelle.

La biomasse végétale produite par l'agriculture est une source de nourriture mais aussi une

source de combustibles ou d'agrocarburants. Ces deux productions entrent en concurrence.

[Limites. Aucune étude de pratique agricole n'est attendue.]

Convergences. Géographie.

Capacités et attitudes

Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations de façon à

- comparer la part de production de biomasse utilisée par l'homme et le total de cette production ;

- établir l'inégale répartition de ces deux ressources. Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement.

Comprendre les éléments d'un débat. Manifester un intérêt pour la vie publique et les grands enjeux de la société à l'échelle planétaire.

Modéliser, recenser, extraire et organiser des informations afin de comprendre comment l'homme intervient sur les flux naturels de biomasse et les détourne partiellement à son profit.

Connaissances

Un sol résulte d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la présence d'eau et la température. Le sol est lent à se former, inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé et souvent détourné de sa fonction biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité.

Objectifs et mots clés. On étudie un exemple, dans l'objectif de comprendre ce qu'est un sol et qu'il résulte d'une lente formation ; altération, hydrolyse, roche mère, humus, horizon.

[Limites. Les différents types de sol ; les différents types d'horizons ; tout vocabulaire de pédologie autre que les quelques termes cités ; les mécanismes de formation du sol au-delà de la simple existence d'une altération et d'une interaction avec la biosphère.]

Capacités et attitudes

Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations, si possible sur le terrain, pour :

- comprendre la formation d'un exemple de sol ;

- relier végétation, climat, nature de la roche mère et nature d'un exemple de sol.

Comprendre la responsabilité humaine en matière d'environnement.

**** *niv_lyc *Ref_1 *Annee_2010 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_enjeuxplanetnourrirhumanite

Pratiques alimentaires collectives et perspectives globales

Les pratiques alimentaires sont déterminées par les ressources disponibles, les habitudes individuelles et collectives selon les modes de consommation, de production et de distribution. Le but de cette partie est de montrer en quoi les pratiques alimentaires individuelles répétées collectivement peuvent avoir des conséquences environnementales globales.

À l'échelle globale, l'agriculture cherche à relever le défi de l'alimentation d'une population humaine toujours croissante. Cependant, les limites de la planète cultivable sont bientôt atteintes : les ressources (eau, sol, énergie) sont limitées tandis qu'il est nécessaire de prendre en compte l'environnement pour en assurer la durabilité.

Objectifs et mots clés. On cherche ici à mettre en relation les pratiques locales et leurs implications globales afin d'installer les bases de la réflexion qui conduit aux choix de pratiques. Il s'agit de montrer comment il est possible d'aborder la réflexion sur ces questions en termes de bilan planétaire.

[Limites. Il ne s'agit pas d'enseigner les choix qui doivent être faits, mais d'introduire les bases scientifiques nécessaires à une réflexion éclairée sur les choix.

Aucune exhaustivité concernant les pratiques alimentaires n'est attendue.]

Convergences. Géographie (seconde) - Nourrir les hommes.

Recenser, extraire et exploiter des informations, utiliser des bases de données et des logiciels pour comprendre :

- l'impact global des pratiques alimentaires ;
- la gestion de populations et/ou de peuplements naturels ;

Recenser, extraire et exploiter des informations sur la variété des agro-systèmes mondiaux et leurs caractéristiques.

Recenser et comparer différentes pratiques culturelles, du point de vue de leur durabilité (bilan carbone, bilan énergétique, biodiversité, etc.).

Recenser, extraire et exploiter des informations sur les recherches actuelles permettant d'améliorer la production végétale dans une logique de développement durable.

Utiliser des systèmes d'information géographique(Sig) pour déterminer l'importance des besoins (énergie, matière, sol, etc.) de la production mondiale agricole actuelle (et son évolution récente).

**** *niv_1S *Ref_1 *Annee_2010 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_terre_vie_évolution_vivant

Variabilité génétique et mutation de l'ADN Pendant la réplication de l'ADN surviennent des erreurs spontanées et rares, dont la fréquence est augmentée par l'action d'agents mutagènes. L'ADN peut aussi être endommagé en dehors de la réplication. Le plus souvent l'erreur est réparée par des systèmes enzymatiques. Quand elle ne l'est pas, si les modifications n'empêchent pas la survie de la cellule, il apparaît une mutation, qui sera transmise si la cellule se divise. Une mutation survient soit dans une cellule somatique (elle est ensuite présente dans le clone issu de cette cellule) soit dans une cellule germinale (elle devient alors héréditaire). Les mutations sont la source aléatoire de la diversité des allèles, fondement de la biodiversité. Recenser, exploiter et interpréter des bases de données et/ou concevoir et réaliser un protocole pour : - mettre en évidence l'influence d'agents mutagènes sur des populations humaines (UV, benzène, etc.) ; - analyser l'influence de l'irradiation d'une culture de levures par des UV (suivi du taux de mortalité). Utiliser des logiciels pour caractériser des mutations. Recenser et exploiter des informations permettant de caractériser la diversité allélique d'une population.

**** *niv_lyc *Ref_1 *Annee_2011 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
 *SousPartieProg_diversification_vivants_biodiversite

Thème 1-A-3 De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité La biodiversité a été définie et présentée comme produit et étape de l'évolution. Dans les classes précédentes, il a été montré que des individus porteurs de diverses combinaisons génétiques peuvent différer par leurs potentiels reproducteurs (plus grande attirance sexuelle exercée sur le partenaire ; meilleure résistance à un facteur du milieu, aux prédateurs ; meilleur accès à la nourriture, etc.). Cette influence, associée à la dérive génétique, conduit à une modification de la diversité génétique des populations au cours du temps. Bilan : la biodiversité et sa modification.

Sous l'effet de la pression du milieu, de la concurrence entre êtres vivants et du hasard, la diversité des populations change au cours des générations.

L'évolution est la transformation des populations qui résulte de ces différences de survie et du nombre de descendants.

Objectifs et mots-clés. On insistera sur l'existence d'une survie différentielle et sur la diversité de l'effectif des descendants des individus qui conduisent à une modification des populations. Sélection naturelle et dérive génétique sont replacées dans ce cadre global.

Analyser une situation concrète, à partir d'arguments variés (données génétiques, paléontologiques, biologiques, arbres phylogénétiques, etc.).

La diversité du vivant est en partie décrite comme une diversité d'espèces.

La définition de l'espèce est délicate et peut reposer sur des critères variés qui permettent d'apprécier le caractère plus ou moins distinct de deux populations (critères phénotypiques, interfécondité, etc.). Le concept d'espèce s'est modifié au cours de l'histoire de la biologie.

Une espèce peut être considérée comme une population d'individus suffisamment isolés génétiquement des autres populations. Une population d'individus identifiée comme constituant une espèce n'est définie que durant un laps de temps fini.

On dit qu'une espèce disparaît si l'ensemble des individus concernés disparaît ou cesse d'être isolé génétiquement. Une espèce supplémentaire est définie si un nouvel ensemble s'individualise.

Objectifs et mots-clés. Dans la continuité de l'approche des classes précédentes, il convient de montrer que l'espèce est une réalité statistique, collective et que c'est dans cette optique que la spéciation peut être envisagée.

[Limites. Il ne s'agit pas de conduire à une définition incontestable de l'espèce ou de la spéciation, mais simplement de montrer que ce concept dont on ne peut aujourd'hui se passer pour décrire le monde vivant est pourtant d'une nature très délicate.]

Analyser des exemples de spéciation dans des contextes et selon des mécanismes variés à partir de documents fournis.

Analyser des informations relatives à la définition des limites d'une espèce vivante.

Analyser des exemples d'hybrides interspécifiques fertiles ou non.

**** *niv_lyc *Ref_1 *Annee_2011 *Disc_SVT *Statut_Oblig *PartieProg_Corps
*SousPartieProg_plante_domestiquee

Les plantes (on se limite aux angiospermes), directement ou indirectement (par l'alimentation des animaux d'élevage) sont à la base de l'alimentation humaine. Elles constituent aussi des ressources dans différents domaines : énergie, habillement, construction, médecine, arts, pratiques socioculturelles, etc. La culture des plantes constitue donc un enjeu majeur pour l'humanité. Sans chercher l'exhaustivité, il s'agit de montrer que l'Homme agit sur le génome des plantes cultivées et donc intervient sur la biodiversité végétale. L'utilisation des plantes par l'Homme est une très longue histoire, qui va des pratiques empiriques les plus anciennes

à la mise en œuvre des technologies les plus modernes. Bilan : sélection génétique des plantes ; génie génétique.

La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées a souvent retenu (volontairement ou empiriquement) des caractéristiques génétiques différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages.

Une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents ; c'est une forme de biodiversité.

Les techniques de croisement permettent d'obtenir de nouvelles plantes qui n'existaient pas dans la nature (nouvelles variétés, hybrides, etc.).

Les techniques du génie génétique permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées.

Objectifs et mots-clés. Il s'agit de montrer les différentes modalités d'action humaine sur les caractéristiques génétiques des plantes cultivées.

[Limites. Les éléments scientifiques introduits ici permettent un débat sur l'usage de telle ou telle méthode, mais il n'entre pas dans les objectifs de l'enseignement scientifique de trancher, à lui seul, la controverse.]

Convergences. Histoire des arts : la modification des aliments de l'Homme au travers de leur représentation picturale. Histoire et géographie : histoire des plantes cultivées et des civilisations.

Comparer une plante cultivée et son ancêtre naturel supposé.

Recenser, extraire et exploiter des informations afin de comprendre les caractéristiques de la modification génétique d'une plante.

Annexe 5 : Présentation de la séquence mise en place en classe de troisième

SEANCE 1 : les crises biologiques

Copie du titre :

Chapitre 12 – Transformations de la terre et évolution de la vie

Copie du titre :

2 –Les crises majeures de biodiversité déterminent différentes périodes de l'histoire de la Terre.

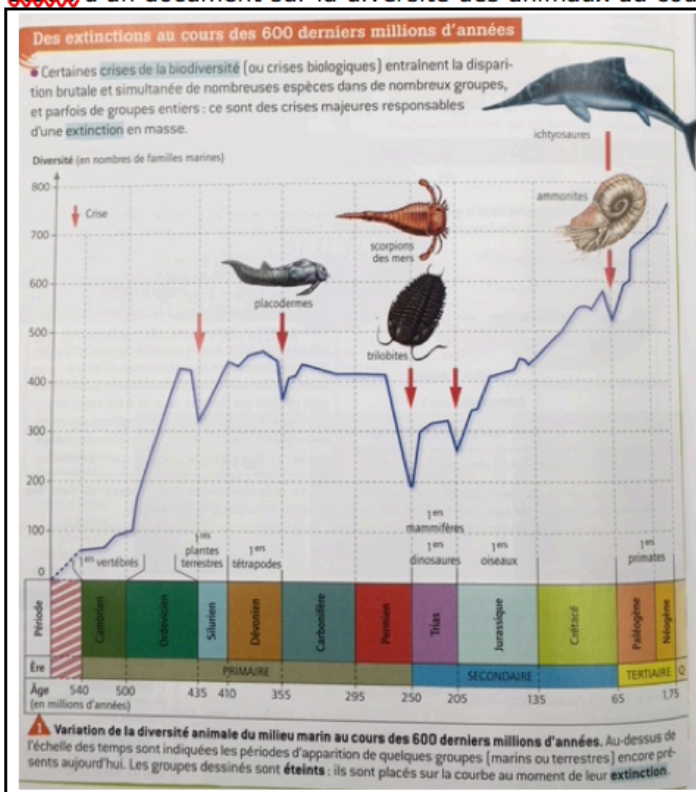
Consigne : « Nous allons étudier la biodiversité, pouvez-vous essayer de définir ce qu'est la biodiversité pour vous ? »

Travail individuel

Dire que nous reviendrons sur cette définition plus tard

Consigne : « A partir du document distribué comparer les conditions sur Terre il y a 4,6 et 3,5 milliards d'années »

Etude d'un document sur la diversité des animaux au cours des temps géologiques



Extrait du manuel de SVT 3^e Belin, Collection A. Duco, 2008

Page 124

Rédaction de la trace écrite finale

A retenir : Les grandes crises de la biodiversité, entraînent la disparition brutale de nombreuses espèces dans de nombreux groupes d'êtres vivants. Elles sont utilisées pour subdiviser l'histoire de la terre en ères et périodes de durée variable.

Consigne : « En haut des mures de la classe se trouve la frise chronologique depuis la formation de la Terre jusqu'à aujourd'hui. Qui peut aller placer une marque pour les différentes crises »

Compléter la frise : limite Crétacé/Tertiaire

Compléter la frise : limite Permien/Trias

Compléter la frise : limite ère primaire

SEANCE 2 : fin des crises biologiques et responsabilité humaine en matière de Santé et d'Environnement

Copie du titre :

3 -Les origines des crises majeures de biodiversité.

Consigne : « Pouvez-vous essayer de m'expliquer le plus précisément possible ce qui s'est passé lors de la crise Crétacé/Tertiaire (qui a provoqué la disparition des dinosaures) ? »

Travail individuel :

Consigne : « A partir des documents page 114-115 compléter le tableau »

Activité 3 **L'origine des crises biologiques**

Il existe dans l'histoire de la Terre de grandes « crises biologiques », au cours desquelles des espèces disparaissent en masse. La plus connue et la plus étudiée est celle qui a vu la disparition totale des dinosaures, il y a 65 millions d'années. Quelles sont les hypothèses proposées pour expliquer de tels bouleversements ?

A L'hypothèse d'un volcanisme d'une intensité exceptionnelle

Les géologues savent qu'une éruption volcanique de grande ampleur peut influencer le climat d'une façon importante pour plusieurs années. Des études faites sur de gigantesques éruptions qui se déroulent dans le nord-ouest des États-Unis, il y a 12 Ma, le prouvent. Les éruptions volcaniques injectent dans la haute atmosphère une telle quantité de poussières que les rayons du soleil ne parviennent presque plus sur Terre : les plantes vertes privées de lumière meurent, les herbivores, et secondairement les carnivores meurent aussi.

1 Les effets de l'expulsion de poussières par les éruptions volcaniques.

2 La réalité d'éruptions volcaniques gigantesques, il y a 65 millions d'années.

B L'hypothèse de l'impact d'une météorite géante

Le Meteor Crater dans le désert de l'Arizona, aux États-Unis, a été formé par l'impact d'une météorite. Le cratère mesure 1 200 mètres de diamètre et sa profondeur est de 180 mètres ; il se serait formé, il y a environ 25 000 ans, à la suite de l'impact d'une météorite d'environ 45 mètres de diamètre et d'une masse de 300 000 tonnes. La matière pulvérisée lors de l'impact est expulsee dans la haute atmosphère et a les mêmes effets que les poussières d'origine volcanique.

3 L'impact d'une météorite injecte des poussières dans la haute atmosphère.

4 La réalité de l'impact d'une météorite géante, il y a 65 millions d'années.

Extrait du manuel de SVT 3^e Bordas,
Collection C. Lizeaux/R. Tavernier, 2008
Page 114-115

Événements géologiques	Variations provoquées	Conséquences sur la vie
Impact météoritique géant	- creusement d'un cratère géant - projection d'une grande quantité de poussière et de gaz - chute de la température - diminution du rayonnement solaire	<u>bouleversement</u> des chaînes alimentaires
Volcanisme exceptionnel	- Empilement de coulées de lave sur 2400 m d'épaisseur - rejets exceptionnels de cendres et de gaz - chute de la température - diminution du rayonnement solaire	<u>bouleversement</u> des chaînes alimentaires

Rédaction de la trace écrite finale

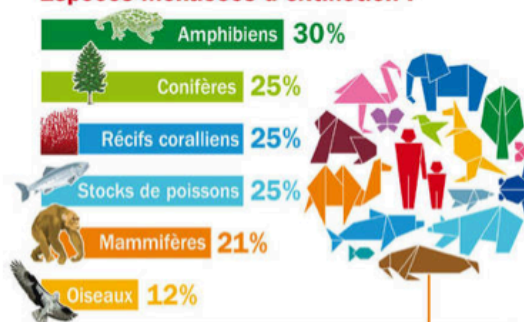
A retenir : Les grandes crises de biodiversité sont provoquées par des événements géologiques majeurs comme la chute de météorites ou des éruptions volcaniques exceptionnelles.

Consigne : « Lisez le document distribué »

Depuis plusieurs années, les biologistes s'alarment face à la disparition de plus en plus rapide des espèces animales et végétales. Une nouvelle étude basée sur un long travail de recherche fait le bilan de la situation actuelle. Les résultats sont inquiétants, et certains chercheurs parlent d'une *Sixième Extinction* car le nombre des disparitions est comparable, sur une courte période, aux autres « *cinq grandes* » extinctions massives qui ont marqué le passé géologique de la Terre.

La biodiversité mondiale en danger

Espèces menacées d'extinction :



Rédaction de la trace écrite

A retenir : De nombreuses espèces sont actuellement en danger et risquent de disparaître. Nous sommes donc en train de vivre une crise de la biodiversité.

Consigne : « A votre avis, quelles peuvent-être les causes de la crise actuelle de biodiversité ? »

Travail individuel texte

Consigne : « Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité. »

Travail individuel texte

SEANCE 3 : responsabilité humaine en matière de Santé et d'Environnement

Consigne : « On a travaillé sur la biodiversité la semaine dernière. On va s'intéresser à ces questions mais avec un exemple pratique qui a eu lieu pas loin d'ici, à côté du Mans en 1999. On va commencer par lire ensemble le document »

Y a-t-il des questions ?

 Le scarabée mange-bitu...

Le scarabée mange-bitume. La construction de l'autoroute A28 entre Tours et Le Mans est stoppée: un insecte protégé habite les arbres de la contrée.

Par Catherine Coroller — 22 janvier 1999 à 23:16

Lors de la construction de la section Le-Mans sud - Tours a été découverte une espèce rare de scarabée, appelée le scarabée "pique-prune" (*Osmoderma eremita*), vivant dans les souches des chênes présents dans la forêt de Bercé. Cette espèce rarissime est protégée notamment par la convention internationale de Berne et la directive européenne Habitat de juin 1992.

Débarque alors sur le terrain le spécialiste français du pique-prune, le professeur Jean-Marie Luce. Sa mission: sauver le scarabée. Après quelques semaines passées à arpenter la région, ses conclusions sont sans appel: le tracé de l'autoroute induit l'abattage de six arbres dont les cavités contiennent des pique-prunes et le bitumage du sol détruit l'habitat du pique-prune et menace de fait sa vie. Désormais, tous les abattages d'arbres seront soumis à l'autorisation du Pr Luce. Sans attendre, Cofiroute, le concessionnaire de l'autoroute, a rappelé tous ses engins de chantier.





Quant aux agriculteurs, dans l'attente du remembrement espéré et gelé, ils perdent patience. Mardi dernier, 250 à 300 agriculteurs ont défilé dans le centre-ville du Mans sur leurs tracteurs. « Ils ont allumé un bûcher sur la place de la Préfecture et brûlé mon effigie en place publique », rigole Jean-Marie Luce, à moitié scandalisé.

Consigne : « L'autoroute était en construction en 1999. A votre avis, qu'aurait-il fallu faire ? »

Travail individuel texte

Consigne de rupture : « J'ai circulé dans la classe et j'ai constaté que vous êtes à peu près tous d'accord pour protéger le pique-prune. Mais c'est bien une vision de collégiens. Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien. En plus, il est moche. Alors vous pouvez changer d'avis. Sinon il va falloir que vous ayez des arguments pour défendre votre point de vue. »

Consigne : « Quels arguments avez-vous à proposer pour défendre votre point de vue (vous pouvez changer de point de vue si vous le souhaitez) ? »

Travail individuel texte

Consigne : « On va maintenant regarder comment la situation a été gérée. A partir du document distribué que pouvez-vous dire sur la situation actuelle »

Bilan de la construction de l'A28

La destruction ou le déplacement de l'habitat de ce scarabée étant interdit en Europe, Cofiroute a obtenu à titre exceptionnel en 2003, de transférer sur des sites spécialement aménagés les arbres abritant les Piques-prunes. Ce qui permit de procéder enfin à la construction de la section d'autoroute.

Avec de grandes précautions, les six arbres de l'A28 ont été installés le 9 septembre 2003 à Croisilles, sur un site d'accueil dûment sélectionné et présentant les conditions optimales pour la survie et le développement de l'espèce. Ainsi aujourd'hui, « des palissades protègent les arbres des vents dominants et mettent les Piques-prunes à l'abri d'un ensoleillement trop important. [...]. Plusieurs pique-prune ont été équipés de micro-émetteurs qui permettent d'étudier leurs déplacements », indique la société Cofiroute qui s'est engagée à prendre en charge le suivi scientifique du scarabée.

Le bilan de ce transfert en 2009 montre que la présence des Piques-prune dans le nouveau site d'accueil est normal et que les populations ont été sauvegardées par le transfert.

Rédaction en commun de la trace écrite finale

A retenir : La mise en en place de travaux scientifique et de mesures spécifiques peut permettre à l'Homme de continuer à se développer tout en protégeant la biodiversité.

Annexe 6 : transcription des réponses des élèves classe de troisième en 2015

Nous allons étudier la biodiversité, pouvez-vous essayer de définir ce qu'est la biodiversité pour vous ?		
M	Aldebert	c'est la diversité entre les espèce.
M	Alexandre	je pense que la biodiversité est la nature, son évolution et tous ce qu'elle peut entrainer comme catastrophe naturelle
M	Alih	la biodiversité c'est le changement provoquer par une nouvelle espèce ou un élément surnaturel
O	Amita	la biodiversité c'est <i>(rien d'autre ensuite)</i>
O	Anna	biodiversité : c'est la faune et la flore. Diversité des espèces (de toutes sortes) -> animaux ou plantes
M	Annabelle	bio = la vie Diversité = divers La biodiversité est l'étude des différentes sortes de vie (animaux, plantes...) sur la terre. Elle travaille sur l'histoire, son évolution.
M	Antoine	c'est le developement et levolution des plante et des espece vivant sur terre quil faut protéger car il y a un risque dextinction
O	Arnaud	c'est la nature et son évolution
O	Ball	c'est la diversité des espèce de leur habitat et de leur gène.
M	Barnabé	biodiversité veut peut être dire que c'est tout mélanger les divertissement pour les êtres humains.
M	Benjy	La biodiversité, c'est tout les différentes espèces d'êtres vivants présents sur terre.
O	Benoit	Pour moi la biodiversité est la nature. C'est la diversité des espèces, de leurs gène mais aussi de la variété de leur habitat. Des espèces apparaissent au cours du temps et d'autres disparaissent

M	Délila	je pense que la biodiversité est la façon dont on préserve notre planète en émettant le moins de pollution possible. La biodiversité est l'équilibre de la Terre que nous déséquilibrons.
O	Elisabeth	C'est les différents éléments de la nature (arbre, plante, poissons)
M	Elsa	C'est la diversité des espèces de plantes, d'animaux -> la façon de préserver la planète.
O	Emmanuelle	la biodiversité c'est la faune et la flore, comme les animaux les plantes et les êtres humains.
M	Eva	c'est la diversité des éléments dans la nature (des êtres vivants). Par exemple, il y a plusieurs sortes d'animaux etc...
O	Florence	la biodiversité : c'est les différents animaux et différentes plantes
O	Florient	pour moi, la biodiversité c'est garder des lieux naturels. Par exemple garder les forêts.
M	Grégoire	bio -> naturel Diversité -> plusieurs La biodiversité c'est l'ensemble des êtres vivants végétales ou animales toutes espèces confondues. Des mammifères aux reptiles en passant par les oiseaux, les insectes ou des arbres ou des fleurs en passant par les buissons.
O	Helena	La biodiversité : plusieurs espèces, nature, faune, flore
M	Jacques	la biodiversité, c'est :
M	Jeane	La biodiversité est un mot composé de « bio » = vie et de « diversité ». La biodiversité est donc la diversité, la pluralité des espèces. Toutes les espèces végétales ou bien animales sont nécessaires au bon fonctionnement de la Terre. Chacune possède sa propre utilité et est fondamentale pour la survie des autres.
O	Jérôme	c'est la diversité des espèces, de leur habitats et de leur gènes. Au cours des temps, des espèces sont apparues et d'autres ont disparues.
O	Kylie	La biodiversité évoque pour moi et de préserver les milieux de vie comme les parcs nationaux, de sauver des races anciennes de l'extinction

		etc... Ne pas faire la déforestation, garder les lieux naturels, ne pas tué d'espèces d'animaux
O	Laurie	pour moi la biodiversité c'est tout ce qui parle ou fait parti de la faune et de la flore
M	Laury	je pense que ce sont genre les feuilles...des marques de la vie l sur terre il y a plusieurs millions d'années.
M	Léonard	la biodiversité ; c'est l'ensemble de tout les êtres vivants dans le monde.
M	Lise	la biodiversité c'est la diversité, les différents êtres vivants animal ou végétal qu'il existe sur un espace donné Biodiversité bio = la vie diversité = variété
M	Mac	la diversité des êtres vivants qui sont sur Terre : animaux , plantes
M	Maelys	la biodiversité c'est les différents êtres vivants qui existe dans la nature.
O	Maha	la biodiversité est ou sont les animeaux ou se trouve t-il ou il vivents
M	Maté	la biodiversité, c'est l'ensemble des êtres vivants réunis, toutes les espèces animales et végétales réunis.
M	Matenzo	je pense que la biodiversité veux dire et parler de tout ce qui est en rapport avec la nature et comment la perservé
M	Mathiew	la diversité c'est la nature qui nous entour en fonction des endroits ou on est Bio = naturel Diversité = partout
M	Matt	la biodiversité représente tout les êtres vivants de cette planète, elle comprend la faune et la flore.
O	Mélanie	Pour moi la biodiversité c'est la faune et la flore.
O	Nathanael	C'est diversité des espèces d'être vivant sur terre.
M	Nicolas	La biodiversité est la vie sous différentes formes.
O	Océanne	Ma première pensée est que la biodiversité sont les plantes, la nature, les variétés d'élément sur terre
O	Ombelle	la biodiversité c'est pour moi la diversité, c'est l'ensemble des choses naturel 9Arbre, Mer, Animaux, ect...)

O	Orelle	Pour moi la biodiversité c'est de différentes plantes et de différents animaux
O	Ranha....	La biodiversité, c'est les animaux en voi de disparition
O	Romain	La biodiversité pour moi c'est plusieurs variété de plante, nature
M	Romuald	La biodiversité est je pense plusieurs éléments divers de la nature, la biologie. Ce sont des éléments biologiques.
M	Suan-le	je pense que la biodiversité c'est la nature, c'est la diversité de la nature, et sa un rapport avec l'écologie
O	Tandred	la biodiversité est la diversité des éléments sur Terre. Exemple il y a plusieurs sortes de plantes, d'animaux.
O	Théophile	ce sont différentes espèce avec des gènes différentes qui vivent dans des habitats différents.
M	Thérèse	C'est la variétés de plantes.
M	Tiguan	la biodiversité est pour moi l'histoire, la diversité de la vie.
O	Tomy	
M	Tristan	la biodiversité est la diversité de la vie, des espèces vivantes multiples existantes. Des millions d'espèces d'êtres vivant existent sur terre. Bio latin = vie
Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité.		
M	Alexandre	Car les espèces sont de plus en plus menacé et en voi d'extinction, à cause de l'être humain qui empiète sur la nature. Il y a aussi le braconage. Il y a aussi de plus en plus de déforestation. L'être humain prend de moi en moin soin de la nature (polution...). Il contribut au crise de la biodiversité, mais la nature est aussi responsable (évènement biologique)
M	Alih	Elle est du à la polution. Les personnes jetent leur dechet dans la nature. Les animaux les mangent et avale des produit toxique qui les rend malade

O	Amita	Les espèces disparaissent à cause des polluants. Et les humains tuent d'animaux à cause des braconniers puis la baisse de température à cause du volcan et le cratère les poussière et le gaz.
O	Anna	La biodiversité régresse à cause de la pollution due à cause des êtres humains (déchets non mis dans les poubelles...ect). C'est dû aussi au réchauffement climatique (fait fondre la banquise donc les animaux polaires ont du mal à vivre). Dans la mer aussi avec les déchets qui s'y trouvent ainsi que le pétrole polluent l'océan donc par exemple les animaux sont pris dans les déchets ou sont étouffés asphyxiés par le pétrole.
M	Annabelle	La biodiversité disparaît en ce moment à cause de l'Homme. En effet, nous créons avec notre technologie de la chaleur qui augmente la température de la terre. Ce qui crée la fonte des glaces, le gaz à effet de serre et perturbe la biodiversité. Nous tuons aussi des animaux pour avoir leurs peaux ou viandes. À cause de ces disparitions d'espèces, la chaîne alimentaire est cassée. Il y a de plus en plus d'Hommes sur terre qui ont besoin de se nourrir. Hommes -> poissons -> crustacés-> coraux
M	Antoine	Moins de forêt pollution les arbres coupés. La pollution de l'air et de l'eau favorise la disparition d'espèces
O	Arnaud	Elles vont disparaître à cause de la chaîne alimentaire. Quand les carnivores n'ont plus rien à manger, ils meurent à leur tour.
O	Ball	ABSENTE
M	Barnabé	La crise actuelle sur la biodiversité est due à l'extinction de certaines espèces tels que les amphibiens, les conifères, les récifs coralliens ou les stocks de poisson. La biodiversité est en grand danger. Pour les poissons en voie d'extinction, il y a les pêcheurs. Pour les conifères, il y a les bûcherons ect...Du coup bientôt il n'y en aura plus sur la terre et tout cela diminue la biodiversité.
M	Benjy	Cela peut-être à cause du braconnage et de la chasse intensive des animaux. Cela peut également être à cause de la pollution de l'eau sur

		certaines continents ou de l'augmentation de la température et de la déforestation ou de l'agrandissement des zones urbaines
O	Benoit	La disparition est due à la pollution, la déforestation, la mort des animaux par les hommes.
M	Délila	Je pense que la biodiversité est en train de disparaître à cause de notre mode de vie : nous consommons toujours + et polluons toujours + ce qui induit des changements climatique et des changements de biodiversité. Des espèces disparaissent ou se transforment Ex : mais aussi à cause de l'exploitation des forêts, ces dernières rétrécissent, les animaux y vivants ont de moins en moins de place. Soient ils changent leurs comportements et s'adaptent ou sortent de leur environnement habituelles pour aller dans les villes (et y mettre la paille)
O	Elisabeth	Les êtres humains augmentent de jour en jour alors il faut construire de plus en plus de logements donc il faut détruire certaines forêts (déforestation). L'atmosphère est aussi polluée : les centrales nucléaires (la fumée).
M	Elsa	FEUILLE PERDUE
O	Emmanuelle	Les animaux disparaissent à cause des humains qui les tuent. Par exemple les poissons, le thon rouge est en voie de disparition et nous n'avons plus le droit de pêcher. Les récifs coralliens disparaissent à cause des produits solaires. Les oiseaux sont tués par les chasseurs (Humain + produit solaire) + (humain dans l'eau) = destruction des récifs coralliens
M	Eva	Car les hommes sont de plus en plus nombreux et prennent beaucoup de place (déforestation...) et mangent beaucoup (animaux)
O	Florence	La biodiversité régresse à cause des activités des hommes, la pollution de nos déchets dans la nature. Du manque de tri sélectif et de recyclage.

O	Florient	C'est à cause de l'abatage des arbres, la pollution de l'océan pour les poissons. Le récif coralliens disparaît à cause des pollutions. Les oiseaux disparaissent à cause des . Ils tu des baleines pour le maquillage.
O	Florine	Les êtres humains sont à l'origine de cette crise car ils arrachent les arbres, tuent les animaux, polluent la nature, ils détruisent les milieux naturels
M	Grégoire	A cause de l'humain qui détruit la faune et la flore et pollue énormément la terre. C'est à cause aussi de la perturbation de la chaîne alimentaire . Exemple : pas assez de lapins, trop de biches, plus d'herbes Pas assez de loup -> trop de cerfs -> plus de ??? L'homme pollue avec des usines.
O	Helena	Elle diminue à cause de la pollution et du climat.
M	Jacques	La biodiversité change à cause de l'espèce humaine qui ne fait pas attention à leur geste qu'ils effectuent comme la chasse qui peut expliquer le cas des oiseaux.
M	Jeane	La biodiversité diminue à cause de l'Homme et de ses actions. L'Homme produit pour lui mais au détriment des autres espèces animales ou végétales. Par exemple : la pollution de l'eau atteint les poissons, la déforestation touche aussi beaucoup d'espèces ou bien l'urbanisation qui empiète sur l'espace de vie des animaux.
O	Jérôme	ABSENT
O	Kylie	Je pense que c'est à cause de la déforestation, des déchets dans la mer pour les amphibiens c'est à cause des déchets des usines ou autre. Lancer dans la nature, les oiseaux sont en voie d'extinction à cause de la fumée, poussière, gaz... lancer par les bâtiments industriels. Il tue aussi les animaux pour en faire des produits de beauté, nourriture...
O	Laurie	La biodiversité diminue car on coupe les arbres, on rase des forêts entières pour construire. On tue les animaux pour revendre leur peau ou autres

		sur les marché noirs. La biodiversité diminue à cause de la pollution et du réchauffement climatique.
M	Laury	Je pense que cela est dû à la pollution qui je pense tue certaines espèces et aussi à la déforestation qui tue aussi des animaux et leurs enlèvent leurs habitats.
M	Léonard	Les espèces sont en voie d'extinction a cause de la pollution, du rechauffement de la terre et aussi a cause que la population d'être humain augmente. La pollution vient des usines, de nos déchets non recycle etc...
M	Lise	Ce qui peut expliquer la crise de la biodiversité, c'est le braconage mais aussi la population humaine a besoin de plus en plus de place du coup des forets, des terrains où vivaient certaines espèces sont rasés pour y mettre des habitations. Donc les espèces n'ont plus de milieu de vie ou elles trouvaient la nourriture et donc elles disparaissent.
M	Mac	Je penser que c'est à cause du réchauffement climatique mais aussi à cause de l'Homme : la pollution, la destruction des abirs des animaux, le braconage, ect...
M	Maelys	Il y a une crise actuel de biodiversité car il y a une grande population sur terre qui détruit peu à peu la nature :
O	Maha	La biodiversité diminue à cause de la pollution et aussi à cause de l'êtres humain. Il y à aussi des crises de biodiversité. C'est aussi à cause des évènement géologiques commes les chutes de météorites
M	Maté	La crise actuelle de biodiversité est due à la déforestation ce qui réduit les habitations d'animaux qui vivent en forêt. Et leur territoire de chasse pour les animaux est diminué. Les herbivores ont du mal à se nourrir. La pollution provoque des maladies, détruit la nature, provoque le réchauffement climatique, fait fondre la banquise.
M	Matenzo	Avec l'avancé des villes nous détruisons des espaces naturelles qui sont essentielle pour des animaux mais aussi a cause des pollutions (usine, voiture...) mais aussi des produits chimique que nous mettons sur nos

		plantes et dans nos jardin ce qui peut crée des morts d'animaux en danger ou en voie d'extinction
M	Mathiew	Car les hommes tuent des millions ou des milliers d'animaux différents pour se nourrir. Il y aussi à cause du réchauffement climatique. Il y a aussi les prédateurs qui tue des animaux pour se nourrir, tout comme nous. On emmène les animaux dans une abattoir puis ils vont dans une charcuterie ou dans une poissonerie.
M	Matt	Les changements climatique entraînent des perturbations sur les animaux, le problème est le même que la biodiversité se trouvant tout en bas de la chaine alimentaire disparaît ou acquière de nouvelles facultés, ce qui entraine une réaction en chaine. Par exemple, le zooplancton arrive à se déplacer plus rapidement à cause de la hausse des températures de la mer, ce qui fait que les animaux mangeans n'arrivent plus forcément à les manger, et ils meurent, l'animal au-dessus de lui dans la chaine alimentaire a lui aussi du mal à se nourrir et ainsi de suite. Zooplancton disparaît -> crevette meurt -> poisson meurt -> homme meurt Si toutes les espèces font cela il n'y a plus de nourriture et nous mourrons.
O	Mélanie	La diminution de la biodiversité est dû au climat et a l'espace terrestre où vivent les animaux ou aussi a cause de la pollution.
O	Nathanael	Elle diminue a cause du réchauffement climatique les glaciers fondes et a cause du gaz a effet de serre
M	Nicolas	Pour moi, la pollution et les braconniers sont des causes de la crise actuelle de la biodiversité.
O	Océanne	La biodiversité diminue car de plus en plus de produits chimique existe, évolue. Les Hommes détruisent la biodiversité, la nature comme la déforestation, la pollution.
O	Ombelle	ABSENTE

O	Orelle	La biodiversité diminue à cause du climat, la pollution et des déchets que nous produisons.
O	Romain	La biodiversité diminue car il y a la disparition des espèces animales et végétales. Des chercheurs parle d'une sixième extinction. Je pense que c'est à cause de la déforestation, pollution des mer...à cause des humains avec la destruction des milieu naturel.
M	Romuald	Je pense que la biodiversité disparaît car il y a de plus en plus de pollution qui vient détruire cette biodiversité. Elle disparaît aussi à cause de leur milieu d'habitat qui disparaît : par exemple la déforestation. Elle disparaît à cause de l'homme qui ne fait pas toujours attention à la nature.
M	Suan-le	Je pense qu'il y a une crise de biodiversité car il y a la pollution. Les hommes ont besoins de plus en plus d'espace donc abatent des arbres et certaine des espèces animaux habites dans les forêts donc disparaissent et braconnage. Et pour les poissons c'est a cause de la pollution dans la mer/océan. Pollution + abatement des arbres -> disparition des animaux Pollution de la mer/océans -> disparition des poissons
O	Tandred	Elles disparaissent à cause de l'homme. Par exemple la déforestation qui tue les arbres et certaines espèces. La pollution tue les récifs coraliens. De plus, la chaine alimentaire est réduite.
O	Théophile	La biodiversité diminuent à cause du réchauffement climatique provoqué par les trous dans la couche d'ozone à cause de la pollution et de l'effet de serre.
M	Thérèse	Absente
M	Tiguan	La biodiversité disparaît car l'environnement n'est plus le même ainsi que la population La déforestation, pollution
O	Tomy	C'est à cause des humains que par exemple le stock de poissons disparaît, ils pechent et tuent les poissons. La mer aussi est pollué et tue

		les poissons. Cela est du à la pollution et la déforestation par les humains.
M	Tristan	La pollution que nous produisent pourrait provoqué cette crise actuelle. La pollution augmente de plus en plus a cause de nous. Il faudrait trouver des solutions moins polluante pour diminuer cette crise actuelle causer par les vehicules et les usines.
Après tout, est-ce si grave ? Dites-moi à votre avis pour quelle raison il faudrait protéger la biodiversité.		
M	Alexandre	Oui, pour moi, la crise de la biodiversité est grave car elle nuit à la nature (fonte des glaces, polution...) par exemple avec tros de polution, il est possible de ne plus voir et distinguer le soleil, le soleil est nécessaire à la Terre si la crise de la biodiversité provoque la disparition d'animaux c'est encore plus grave car pour moi il sont indispensable.
M	Alih	Oui, c'est grave car sans la biodiversité on ne pourrait pas vivre, les animaux sont principalement une des ressources les plus importantes.
O	Amita	Oui pour moi c'es grave car sa polution les banquise fonde, les especes disparese donc nous n'oront plus d'aliment.
O	Anna	C'est grave car par exemple si il y a plus d'arbre, on aura plus beaucoup d'oxygène, donc plus d'homme ect...Cela modifierait toute la chaine alimentaire voir même sa ne marcherait pas donc peut être plus de vie.
M	Annabelle	Oui cette crise est grave parce que la biodiversité risque de diminuer jusqu'à son extinction complète. Il faut protéger la biodiversité car sans la biodiversité il n'y a plus de vie sur terre.
M	Antoine	C'est grave car sil n'y a plus de Biodiversité il n'y auras plus de plante.

O	Arnaud	Pour moi ce n'est pas grave car il y a déjà eu 5 extinctions massives et nous n'en sommes pas mort pour autant. Il faut croire que l'humain est capable de survivre.
O	Ball	ABSENTE
M	Barnabé	Oui car bientôt il n'y aura plus d'espèces dans ce monde. Il faut protéger les espèces en voie d'extinction comme interdire certain peche pour les espèces menacés.
M	Benjy	Oui je pense que cette crise est grave car plusieurs centaines d; espèces risquent de disparaître. De plus, cette crise peut être inquiétante car c'est la 1 ^{ère} crise dû à une autre espèce et pas à une catastrophe géologique.
O	Benoit	Oui c'est grave car c'est indispensable pour l'être vivants.
M	Délila	Oui car ce serait la disparition d'une espèce ou plusieurs mais ce n'est pas une crise avec énorméments de disparition.
O	Elisabeth	Oui, cette crise est grave car sans la biodiversité les humains, les animaux pourront plus se nourrir. Sans foret les insectes peuvent pas vivre, les oiseaux n'ont plus de maison...Il faut la préserver car c'est une partie de ce qui permet de nous faire vivre.
M	Elsa	Feuille perdue
O	Emmanuelle	Oui c'est grave car sinon il n'y aura plus d'animaux et du coup les humains ne pourront plus se nourrissent et il n'y auras plus de vie sur la Terre. Et si il n'y as plus d'arbre il n'y a plus d'oxygène et du coup plus d'être vivants.
M	Eva	Oui c'est grave parce qu'après y a plus de matières premières et on ne peux plus vivre

O	Florence	Oui c'est grave car si il n'y pas plus de quoi satisfaire les besoins des animaux, ils ne pourront plus se nourrir donc plus se reproduire donc la chaine alimentaire se cassera et donc toutes les espèces seront en disparition.
O	Florient	Je pense que c'est grave pour les êtres vivants si il n'y a plus d'arbres on ne peut presque plus respirer et il faut garder les milieu naturel pour les annimaux
O	Florine	Il faut proteger cette biodiversité car si il n'y a plus d'animaux il n'y as plus de nourriture et si on polue l'eau il n'y a plus de ressources, sans cette biodiversité il n'y aurait pas de vie car ils ne pourraient pas se nourrire... Si il n'y as plus de biodiversité c'est grave.
M	Grégoire	Oui c'est grave car si elle disparaît, les humain disparaîtront car ils ont besoin de la nourriture, des plantes, du bois, en faite des matières première et naturel pour vivre.
O	Helena	Pour moi c'est grave car si la biodiversité diminue, se qui veut dire qu'il n'y aura plus de végétaux...Il faudrait la protéger car c'est elle en quelque sorte qui nous nourrit.
M	Jacques	Je pense que ces pas grave car on a déjà connu sa dans le passe mais le problème est que pour la premiere fois que c'es accause d'une autre espèce humaine.
M	Jeane	Cette crise de biodiversité est très importante, car si cela continue, la majorité des especes vont disparaitre et les espèces vont s'éteindre. Il ne restera que l'espèce humaine et si une telle situation se produit, nous ne pourrons plus vivre.
O	Jérôme	ABSENT
O	Kylie	Oui je pense que c'est grave car si on détruit toute les forets arbres d'une part ça tue les animaux, ça pollue et les arbres sont essentiel à la vie. Faudrais protéger la biodiversité car c'est essentiel à la survie humaine.

O	Laurie	Je pense que c'est grave car plus on pollue plus l'air est pollué et donc on a de plus en plus de mal à respirer et les maladie ce développe plus facilement. Les animaux et les plantes mourront aussi puisque l'air ne sera plus respirable. IL faut donc proteger la biodiversité car sans arbres il n'y aura plus d'air et plus d'homme.
M	Laury	Oui ceci est grave car c'est grace à ceci que nous respirons de l'oxygène. Les arbres recyclent l'oxygène. Les animaux donnent de la vie sur Terre.
M	Léonard	Oui, c'est grave il faut la protéger. On a besoin de toutes les espèces pour la chaine alimentaire. Il faut protéger leur environnement.
M	Lise	Oui c'est grave et il faudrait la protéger car on est pas les seuls à devoir vivre sur terre, les animaux sont aussi important et si ils disparaissent il y aura moins de nourriture pour les populations. Il ne faut donc pas qu'ils disparaissent.
M	Mac	Oui, c'est grave car chaque animal est important . par exemple pour réduire le nombre d'animaux par espèces pour ne pas qu'il y est de surpopulation sur Terre.
M	Maelys	Oui c'est grave et il faut la protégé pour les générations à venir. Il faut laisser la terre en bon état pour que plus tard les populations pourront vivre bien avec une belle nature.
O	Maha	Oui c'est grave car s'il on ne reprotège pas la biodiversité nous n'auront plus à mangé car si les vaches, cochons ect sont en voix de disparition a cause de la pollutions.
M	Maté	Je pense que c'est grave car si les animaux sont amenés à disparaitre, alors les chaines alimentaires vont être bouleversées, ce qui va entrainer d'autres disparitions. Il faudrait économiser les ressources naturelles, il

		faudrait faire attention face à la pollution, informer les gens sur les risques encourus. Réduire les émissions de CO2
M	Matenzo	Oui, c'est grave. Il faut protéger la biodiversité car ils sont essentiels pour les animaux mais aussi pour nous car ce n'est pas de l'air polluer pas comme dans les villes.
M	Mathiew	Oui, c'est grave car si il n'y a plus d'animaux sur terre on va tous mourir de faim. Et nous aussi on mourra. Conclusion : pas de biodiversité = pas de vie sur terre. Donc il faut préserver la biodiversité.
M	Matt	Oui c'est grave
O	Mélanie	Pour moi la diminution de la biodiversité est grave car le changement climatique fait que les eaux montent, et si elles montent la Terre meurent. Et si il n'y a plus d'animaux, on n'a plus de nourriture. Donc il faut préserver la biodiversité pour survivre.
O	Nathanael	Oui car la chaîne alimentaire va être perturbée et entraîne la disparition de d'autres espèces il faut la protéger pour préserver l'écosystème/
M	Nicolas	Je pense que c'est graves il y peut y avoir d'autres animaux qui meurent car il ne peuvent plus manger les animaux qui meurent de la pollution.
O	Océanne	Il faut protéger cette diversité car si il n'y a plus de plantes, des animaux vont mourir car ils vont manquer d'éléments naturels pour vivre, donc si il n'y a plus d'animaux (par exemple : vache = plus de lait, plus de viande) Donc pour moi cette destruction est très grave, un manque de vie se fera sur terre. Les animaux ont besoin autant un bon milieu de vie que les hommes
O	Ombelle	ABSENTE

O	Orelle	Pour moi c'est grave car si la biodiversité diminue cela veut dire qu'il n'y aura plus d'espèces animales, plus de végétations, tout ce qui nous entoure est enlevé, et qui dit plus d'animaux dit plus de nourriture, plus de production agricole.
O	Ranha....	ABSENTE
O	Romain	Oui c'est grave que toutes les espèces...disparaissent car c'est toute une chaîne alimentaire qui se brise...et cela engendre de grave conséquence sur la planète, il faut la protéger car sinon tout les espèces vivant vont disparaître.
M	Romuald	Oui je pense que c'est grave car c'est aussi grâce à la biodiversité que nous pouvons vivre. En effet, nous nous nourrissons grâce à eux. Il faut donc la protéger car sinon nous pouvons mourir et il n'y aura plus de vie sur la planète.
M	Suan-le	Oui je pense que la crise est grave car sans les arbres on aura plus d'oxygène ce ne sera plus renouvelé. Et les animaux on a besoin d'eux pour certains de la viande donc pour nous nourrir. D'autres sont utiles.
O	Tandred	C'est grave car on ne peut plus manger des poissons et les arbres nous donnent le dioxygène pour vivre. Donc si il n'y en a plus c'est grave. Il faut la protéger pour mieux vivre.
O	Théophile	C'est grave car cela brise la chaîne alimentaire et peut alors augmenter encore plus cette crise. Il faudrait la protéger pour préserver des êtres vivants comme nous.
M	Thérèse	Absente
M	Tiguan	Oui, c'est grave car les animaux ainsi que la végétation disparaissent. Si il n'y a pas d'arbre il n'y a donc pas de papier. Si il n'y a pas d'animaux il n'y a donc rien à manger pour les habitants

O	Tomy	Oui c'est grave car cela perturbe complètement les chaînes alimentaires et si il y a plus de chaînes alimentaires il n'y a plus de vie.
M	Tristan	Oui je pense que c'est grave car cela pourrait bouleverser notre chaîne alimentaire et cette crise pourrait éteindre sur les humains. Donc cette crise pourrait nous inclure dedans.
L'autoroute dont on parle était en construction en 1999. A votre avis qu'aurait-il fallu faire ?		
M	Aldebert	
M	Alexandre	D'après moi, il aurait fallu éviter les arbres contenant les insectes protégés, il faudrait passer à côté, faire une déviation ou les contourner car les espèces protégées sont très importantes en tout cas plus importantes qu'une autoroute.
M	Alih	
M	Annabelle	Il aurait fallu détourné l'autoroute pour que les piques prunes puissent vivre dans leurs arbres. Comme ça, l'autoroute est construite et le pique prune reste dans son habitat naturel.
M	Antoine	Il faut lancer une pétition pour que la route soit stoppée ou contourner les habitats des piques prunes.
M	Barnabé	Il aurait fallu bloquer l'autoroute pendant un certain temps pour chercher où se trouvaient les nids de ces scarabés et les placer dans un refuge.
M	Benjy	Je pense qu'il aurait fallu déplacer les piques-prunes dans une autre forêt pour pouvoir continuer la construction car sinon on aurait tué les piques-prunes et si les travaux restent à l'arrêt, l'industrie perd de l'argent.
M	Délila	Il aurait fallu interrompre l'autoroute définitivement et au contraire surveiller et porter attention à ce scarabé. Ou dévier l'autoroute pour ne pas qu'elle empiète sur l'habitat des piques-prunes.

M	Elsa	Je pense que la stoppé était normal car c'est une espèce menacée mais il aurait pu les placer dans une « cage » et les remettre dans un autre arbre ou la faire passer par un autre endroit (dévier) Pas le droit de détruire une autre espèce donc les déplacer au devier la route. Sinon biodiversité
M	Eva	Il aurait fallu ne pas la construire du tout et regarder si il y avait des espèces protégées avant, et la construire plus loin.
M	Grégoire	Il aurait fallu ne pas construire d'autoroute à cette endroit pour ne pas embété pique prune ou alors contourner la forêt.
M	Jacques	Je pense qu'il faudrait déplacer les pique prune dans une forêt plus éloigner de la route et reprendre les travaux.
M	Jeane	Je pense que l'arrêt de la construction de l'autoroute est la meilleure solution. En effet, ces scarabées pique-prune appartiennent à une espèce protégée par la convention de Berne, et en voie de disparition. La construction de cette autoroute menace leur survie et leur espace de vie. Ce projet détruit donc la biodiversité, il est donc nécessaire d'y renoncer ou bien de construire l'autoroute autre part.
M	Laury	Je pense qu'il aurait fallu dévier la route car comme cela les pique-prune ne seraient plus menacés et cela serait plus pratique.
M	Léonard	Il aurait fallu dévier l'autoroute A28. Pour contourner les arbres qui possède des pique-prunes.
M	Lise	Dans cette situation, il aurait fallut contourner la forêt de Berne contenant les scarabées afin de ne pas les tuer car c'est une espèce protégée qui est rarissime sinon l'espèce risque de disparaître.
M	Mac	A mon avis il aurait fallu déplacer les scarabées et leur trouver un nouvel habitat pour préserver cette espèce rarissime mais aussi pour

		finir à temps le projet de l'autoroute A28 car celui-ci coute déjà énormément d'argent alors si il est retardé...
M	Maelys	Il aurait fallu faire l'A28 autre part où ne pas la faire pour protéger cette espèce. Il aurait aussi fallu faire beaucoup de recherche sur cette espèce. La solution de bloqué l'A28 est une bonne idée
M	Maté	Il aurait fallu déplacer les animaux dans un autre lieu protégée et adapté et continuer les travaux pour calmer tout le monde et les détruire la chaine alimentaire.
M	Matenzo	Je pense qu'on aurait dû tout simplement dévier cette autoroute de facon a ne pas toucher les arbres qu'on aurait du penser avant a la nature pour pouvoir préserver l'espèces sans annulé la construction de l'autoroute. Conclusion : l'autoroute n'aurais pas été arrêter et la nature aurait été préservé.
M	Mathiew	Il aurait fallu déraciner les arbres avec les pique prune. Les pique prune aurait été mit dans des boites. Puis on trouve une foret pour replanter les arbres puis on remet les pique prune dessus. Ou sinon il font dévier la construction pour laisser les arbres et les pique prune tranquille.
M	Matt	Pour moi il faudrait modifier le tracer de l'autoroute ou construire un pont ou un tunnel passant au dessus ou en dessous de l'habitat. On pourrait aussi déplacer l'habitat ou seulement le scarabée dans un endroit plus propice.
M	Nicolas	Il faut les changer d'endroit ou dévier la route
M	Romuald	Il aurait fallu construire l'autoroute autre part pour ne pas menacer la disparition du « pique-prune ».
M	Suan-le	Dans cette situation, je pense déjà qu'il faut stopper le chantier et refaire un plan pour que l'autoroute contourne les arbres. Car si certaines espèces sont rares, il faut les préservés.
M	Thérèse	Je pense qu'il fallait dévier la route, les déplacer.
M	Tiguan	C'est un article du journal Libération

M	Tristan	J'aurais pris 2 pique prunes pour faire survivre l' espèce au pire des cas. Mais je pense que l'autoroute pouvait contourner la zone contenant des piques prunes pour laisser l'espèce « tranquille ». Le projet d'une autoroute peut encore être modifié
M	Victoria	Pour moi, arrêter la construction de l'autoroute A28 était nécessaire. Mais au lieu de l'arrêter totalement, je pense qu'ils auraient pu modifier l'autoroute en le faisant passé par un autre endroit qui m'abrite pas des scarabées « pique-prune ».
J'ai circulé dans la classe et j'ai constaté que vous êtes à peu près tous d'accord pour protéger le pique-prune. Mais c'est bien une vision de collégiens. Moi je ne vois pas pourquoi je devrais payer et faire un détour quand je pars en vacances pour protéger un insecte qui ne sert à rien. En plus, il est moche. Alors vous pouvez changer d'avis. Sinon il va falloir que vous ayez des arguments pour défendre votre point de vue. Quels arguments avez-vous à proposer pour défendre votre point de vue (vous pouvez changer de point de vue si vous le souhaitez) ?		
M	Aldebert	Si on ne les tue pas tous et que on les déplace ailleurs par l'espèce sera toujours là en se reproduisant.
M	Alexandre	Je ne veux pas défendre l'argument comme quoi on peut les tuer et abattre les arbres car on s'en fiche et que ce sont que des insectes alors qu'ils sont tous importants et que les insectes ont une utilité pour l'Homme
M	Alih	
M	Annabelle	Je m'oppose à l'argument comme quoi ces insectes ne servent à rien car notre science évolue de jour en jour et nous ne savons pas à quoi ils peuvent servir plus tard.
M	Antoine	Le meilleur argument serait de contourner les arbres car au futur peut-être que cette espèce servira au médicament.
M	Barnabé	L'argument que je ne veux pas défendre est de les garder car ralentir nos routes et manger nos bitumes ils ne sont pas d'une grande importance.

M	Benjy	Argument : Je pense qu'il faudrait les déplacer car il peuvent servir dans la chaine alimenaitre ou pour certains médicament mais de toute façon, une espèce n'a pas à décider de l'extinction d'une autre.
M	Délila	Je ne veux pas défendre l'argument de la destruction de leur habitat naturel car nous n'avons pas a choisir l'emplacement de l'habitat de ces insectes.
M	Elsa	Oppose : les détruire car on a pas le droit de détruire une espece car on est une aussi et biodiversité sera déséquilibré
M	Eva	Dévier l'autoroute car l'espèce et leur environnement est conservé Je m'oppose à ce qu'on les détruisent car ils peuvent servir à faire des tests en laboratoire et peut-être contribuer aux avancées scientifiques
M	Grégoire	Devié l'autoroute car on les tue pas et on a comme même une autoroute.
M	Jacques	Je m'oppose a ce que la construction de la route.
M	Jeane	Je ne voudrais pas défendre l'idée que cette autoroute permettra aux gens de circuler plus vite car elle me paraît disproportionnée par rapport aux conséquences provoquées
M	Laury	Je ne veux pas défendre l'avis de les tuer en disant que cela ne serait rien et qu'on ne payera juste une amende car c'est une espèce vivante et elle a le droit de vivre.
M	Léonard	Je m'oppose à les tuer.
M	Lise	Je m'oppose à l'argument disant que ce n'est pas grave de les tuer, qu'ils sont inutiles car au contraire, si ils sont présents sur Terre c'est qu'ils sont utiles à qq chose même si on ne le sait pas.
M	Mac	Je ne veut pas défendre : « ce sont des petits insectes donc on les tue ». Peut-être qu'ils sont petits mais ils ont autant que nous le droit de vivre. De plus, nous n'avons pas à décider de leur mort. Ils ne peuvent pas se défendre

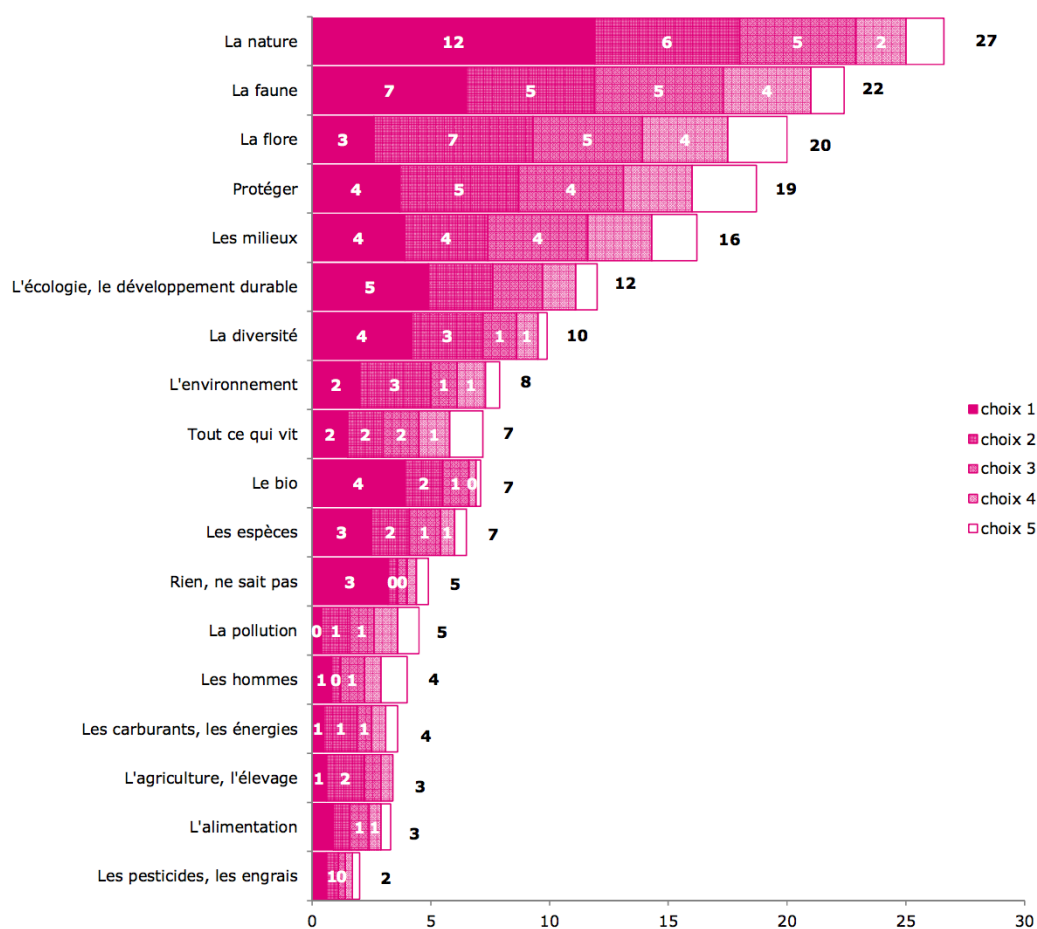
M	Maelys	L'argument auquel je m'oppose est celui de détruire l'espèce en voie de disparition.
M	Maté	On ne peut pas dire qu'elle ne sert à rien, elle a son utilité dans la biodiversité.
M	Matenzo	Pourquoi on ne pourrais pas les tuées car je pense qu'on a pas le droit que personne n'a le droit d'éteindre comme ça voilà pourquoi on ne pourrais pas les tuées
M	Mathiew	Je ne veux pas défendre l'abatage des arbres avec une espèce rarissime vivant dans ces arbres car c'est juste pour notre besoin personnel. C'est insectes non rien demandé.
M	Matt	Je m'oppose à l'argument suivant : « ces insectes ne servent à rien, sa ne nous changera pas la vie de les tuer ». Car dans ce cas là, très grand nombre d'espèces ne servent à rien et on ne les tuent pas pour autant, les hommes par exemples ne servent pas à grand-chose par rapport aux dégats qu'ils ocasiones et on ne nous tue pas.
M	Nicolas	Je ne veux pas que les scarabées sois tuer car c'est une espèce rare et il peuvent servir pour plus tard.
M	Romuald	Argument défendu : L'argument que j'ai retenu est de déplacer l'autoroute car il y aura toujours une autoroute et les scarabées n'auront pas à s'habituer à un autre environnement Donc pour préserver cette espèce, je pense qu'il vaut mieux déplacer l'autoroute. Argument non défendu : je ne veux pas détruire les scarabées car c'est une espèce très rare qui nous servira peut-être plus tard donc il ne faut pas la détruire.
M	Suan-le	Je ne veux pas défendre l'argument qui est d'abattre les arbres et donc tué l'insecte car si ils sont la c'est qu'ils sont important et utile pour l'Homme.
M	Thérèse	Je ne veux pas qu'on tue les insectes car ils n'ont rien fait de mal à par de ce nourrir de bitume.

M	Tiguan	Je m'oppose fermement au fait de faire disparaître ces petite bête. Il y d'autre solution changer leur habitat naturel.
M	Tristan	Je ne défendrai pas l'argument de les exterminer car toute espèce a une utilité sur la planète, il faut conserver notre biodiversité.
M	Victoria	Tuer les insectes -> pas de respect de la loi européenne -> Tuer des êtres vivants-> Tuer des êtres vivants protégé

Annexe 7 : l'opinion des français sur la participation des citoyens à une agence pour la biodiversité

Quels sont les mots ou expressions qui vous viennent à l'esprit quand on parle de biodiversité ?

- Champ : question posée aux individus connaissant la biodiversité, taux rapportés à l'ensemble de la population -



Source : Enquête CREDOC pour la future agence pour la biodiversité, 2015

Thèse de Doctorat

Marco Barroca-Paccard

Approche didactique de l'enseignement de la biodiversité : enjeux épistémologiques et curriculaires, et conditions d'apprentissage des élèves

Didactic approach of biodiversity teaching: epistemological and curricular issues, and student learning conditions

Résumé

L'expression « *BioDiversity* » a été inventée par Walter G. Rosen en 1985 lors de la préparation du *National Forum on Biological Diversity*. Depuis cette date, ce terme simple et qui permet de parler de l'ensemble de la diversité du vivant a connu un succès fulgurant dans les milieux scientifiques, mais aussi dans la société en général où il est associé aux préoccupations environnementales. Le terme « biodiversité » est également présent dans les programmes scolaires français actuels de sciences et technologies et de Sciences de la Vie et de la Terre. Ceci nous a amenés à nous demander comment se fait sa scolarisation en tant que concept. Des approfondissements épistémologiques nous permettent de montrer que la biodiversité peut se structurer dans l'articulation de dimensions scientifiques et de protection de la nature. Cela nous conduit à inscrire notre étude dans les cadres d'analyse de la problématisation des savoirs scientifiques et de l'éducation à l'environnement. Pour explorer les tensions que provoque l'intégration de la biodiversité dans le système scolaire français, nous mobilisons plusieurs méthodologies et des corpus variés. Nos investigations font ressortir une tendance à la dichotomie entre les dimensions scientifiques et sociales de la biodiversité. Elles nous conduisent à proposer un modèle didactique qui s'appuie sur une vision problématisée des savoirs environnementaux et nous permettent de montrer l'importance des valeurs pour penser un enseignement scientifique intégrant de possibles actions pro-environnementales.

Mots clés

Biodiversité, curriculum, éducation à l'environnement, épistémologie, problématisation, valeurs

Abstract

The term "BioDiversity" was proposed by Walter G. Rosen in 1985 during the preparation of the National Forum on Biodiversity. Since then, this simple term, which concerns all the diversity of living organisms, has been used successfully in scientific circles, but also in society in general, where it is associated with environmental concerns. The term "biodiversity" is also present in current French school curricula for science and technology and life and earth sciences. This led us to wonder how this concept was organized. An epistemological analysis has shown that biodiversity is structured by the articulation of scientific study and concerns for the protection of nature. Consequently, this research sought to mobilize environmental education analysis frameworks and the problematization of scientific knowledge. Our study is based on different methodologies and data to explore the tensions that appear in the integration of the concept of biodiversity in the French school system. This study showed a tendency to dichotomize between the scientific and social dimensions of biodiversity in normative school propositions. It also highlighted the importance of values and led to propose, at the end of this work, a didactic model based on a problematized vision of environmental knowledge to consider the importance of values for scientific education that can lead to pro-environmental actions.

Key Words

Biodiversity, curriculum, environmental education, epistemology, problematized teaching, values