



HAL
open science

L'épistémologie contemporaine de la Théorie de l'évolution dans l'enseignement secondaire français : état des lieux et conséquences didactiques

Fabienne Paulin

► **To cite this version:**

Fabienne Paulin. L'épistémologie contemporaine de la Théorie de l'évolution dans l'enseignement secondaire français : état des lieux et conséquences didactiques. Education. Université Claude Bernard - Lyon I, 2015. Français. NNT : 2015LYO10254 . tel-01287258

HAL Id: tel-01287258

<https://theses.hal.science/tel-01287258>

Submitted on 12 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON-1

Laboratoire **S2HEP**

(Sciences, Société, Historicité, Éducation et Pratiques)

École doctorale **EPIC**

(Éducation, Psychologie, Information et Communication)

THESE

pour l'obtention du grade de
Docteur en sciences de l'Éducation
Spécialité : Didactique des disciplines
par Fabienne PAULIN

Thèse soutenue le 27 novembre 2015

**L'épistémologie contemporaine de la Théorie de l'évolution dans
l'enseignement secondaire français : état des lieux et conséquences
didactiques**

Jury :

- M. S. CHARLAT Co-directeur de thèse
- M. D. GUINET Directeur de thèse
- Mme D. ORANGE RAVACHOL Rapporteur
- M. G. LECOINTRE Président de Jury
- M. S. TIRARD Rapporteur
- M. E. TRIQUET Co-directeur de thèse

Sommaire

Introduction générale	8
Partie 1 : L'épistémologie des sciences de l'évolution : entre science historique et science fonctionnaliste	14
Introduction	14
I. L'évolution : des savoirs enrichis et remodelés	16
I. 1. Aspects historiques : de la théorie synthétique à la synthèse actuelle.....	16
Introduction.....	16
I. 1. 1. La TSE : formulation et fondements.....	16
I. 1. 2. Des remises en questions.....	17
I. 1. 3. De nouveaux champs d'investigation.....	18
I. 2. Des concepts « remodelés ».....	20
I. 2. 1. La sélection et ses contours.....	21
I. 2. 2. L'hérédité.....	23
I. 2. 3. La contingence historique.....	24
I. 3. Une formulation actuelle de la théorie de l'évolution.....	26
II. Les sciences de l'évolution : cadre scientifique et épistémologique	26
II. 1. Savoirs et concepts scientifiques.....	26
II. 2. Sciences historiques et fonctionnalistes dans le champ de l'évolution.....	29
II. 2. 1. Aspects historiques.....	29
II. 2. 2. Un cadre épistémologique contemporain.....	32
II. 2. 3. Les critères de différenciation des sciences historiques et fonctionnalistes de l'évolution.....	34
II. 2. 3. 1. Définitions, objectifs.....	34
II. 2. 3. 2. Les objets d'études.....	37
II. 2. 3. 3. Les modes de raisonnements.....	41
II. 2. 3. 4. La contingence.....	48
Conclusion	48
Partie 2 : Le « paysage conceptuel » de l'évolution dans le monde de la recherche	50
Introduction	50
I. État des lieux des sciences de l'évolution dans le milieu scientifique français	51
I. 1. Le rattachement institutionnel des sciences de l'évolution au sein du CNRS.....	51
I. 2. Les niveaux d'organisation du vivant investis dans les UR « évolution ».....	53
I. 3. Données bibliométriques.....	54
II. Les réseaux d'association de chercheurs en évolution	55
II. 1. Questions et choix méthodologiques.....	55
II. 1. 1. Genèse de l'outil.....	55
II. 1. 2. Le réseau d'association.....	57
II. 1. 3. Protocole d'origine du réseau d'association.....	58
II. 1. 4. Protocole adapté à notre étude.....	58
II. 2. Protocole proposé aux chercheurs.....	59
II. 2. 1. Description et consignes.....	59
II. 2. 2. Nature des résultats obtenus.....	59
II. 2. 3. Le choix des mots-stimulus.....	60
II. 3. Corpus.....	61
II. 3. 1. Données quantitatives.....	61
II. 3. 2. Représentativité du panel de chercheurs.....	61
II. 4. Traitements des données.....	63
II. 4. 1. Mise en forme des résultats bruts.....	63
II. 4. 2. Premier traitement des données : obtention du noyau central et du 1er noyau	

périphérique.....	67
II. 4. 3. Deuxième traitement des données : le rang maximal atteint.....	68
II. 4. 4. Troisième traitement des données : la valeur d'importance.....	69
II. 4. 5. Traitement des définitions.....	69
III. Résultats et analyses.....	69
III. 1. Résultats.....	69
III. 1. 1. Données quantitatives globales pour les 3 mots stimulus.....	69
III. 1. 2. Les noyaux centraux et périphériques.....	72
III. 1. 3. Le classement par rang maximal atteint.....	79
III. 1. 4. Les valeurs d'importance.....	85
III. 2. Analyses.....	86
III. 2. 1. Introduction.....	86
III. 2. 2. La place hégémonique de la sélection naturelle.....	88
III. 2. 3. Répartition process/pattern.....	94
III. 2. 3. 1. Process/pattern pour le mot-stimulus « évolution ».....	95
III. 2. 3. 2. Process/pattern pour le mot-stimulus « sélection ».....	98
III. 2. 3. 3. process/pattern pour le mot-stimulus « parenté ».....	99
Conclusion.....	100
IV. Un entretien avec des chercheurs en évolution.....	102
IV. 1. Introduction.....	102
IV. 2. Les points saillants de l'entretien.....	102
IV. 3. Bilan de la rencontre.....	104
Conclusion.....	105
Partie 3 : Les sciences de l'évolution dans le monde scolaire.....	108
Introduction.....	108
Chapitre 1 : Le « paysage conceptuel » de l'évolution chez des enseignants de SVT.....	109
Introduction.....	109
I. Les réseaux d'association des enseignants.....	110
I. 1. Méthodologie.....	110
I. 2. Corpus.....	110
I. 2. 1. Collecte des réseaux.....	110
I. 2. 2. Données quantitatives.....	111
II. Résultats.....	113
II. 1. Noyaux centraux et périphériques.....	113
II. 2. Les valeurs d'importance.....	117
III. Analyses.....	118
Introduction.....	118
III. 1. Comparaison des noyaux centraux et périphériques.....	118
III. 1. 1. Mot-stimulus « évolution ».....	118
III. 1. 2. Mot-stimulus « sélection ».....	123
III. 1. 3. Mot-stimulus « parenté ».....	127
III. 2. Comparaison des définitions des chercheurs et des enseignants.....	131
Conclusion.....	135
Chapitre 2 : Les sciences de l'évolution dans les programmes de SVT.....	137
Introduction.....	137
I. Une grille d'analyse des sciences historiques et fonctionnalistes.....	138
II. Analyse des introductions et des ressources générales des programmes de SVT.....	141
II. 1. Méthodologie.....	141
II. 1. 1. Corpus.....	141
II. 1. 2. Traitement des données.....	142
II. 2. Résultats et analyses.....	143
II. 2. 1. Données quantitatives.....	143

II. 2. 2. Analyse des unités d'analyse	145
II. 2. 2. 1. La nature des sciences dans les textes officiels.....	146
II. 2. 2. 2. Les méthodes scientifiques dans les textes officiels.....	148
II. 2. 2. 3. Les objectifs de l'enseignement des sciences.....	152
II. 2. 2. 4. Les démarches d'enseignement des sciences.....	156
Conclusion	167
III. Les sciences historiques dans les programmes scolaires	168
Introduction.....	168
III. 1. La parenté entre les êtres vivants : un objet des sciences historiques.....	169
III. 1. 1. La systématique phylogénétique ou cladistique.....	169
III. 1. 2. La phénétique.....	171
III. 2. La parenté dans les programmes de SVT	171
III. 2. 1. Méthodologie.....	171
III. 2. 1. 1. Corpus.....	171
III. 2. 1. 1. Traitement des données.....	171
III. 2. 2. Analyses des programmes du secondaire sur la parenté.....	172
III. 2. 2. 1. La parenté dans les programmes du collège.....	172
III. 2. 2. 1. 1. 2. De la classe de sixième à la classe de quatrième.....	174
III. 2. 2. 1. 1. 2. En classe de troisième.....	175
III. 2. 2. 1. 1. 3. Conclusion.....	179
III. 2. 2. 1. La parenté dans les programmes du lycée.....	179
III. 2. 2. 1. 1. En classe de seconde.....	180
III. 2. 2. 1. 2. En classe de première.....	183
III. 2. 2. 1. 3. En classe de terminale S.....	185
Conclusion	189
Chapitre 3 : Une étude des fiches d'activités sur la parenté	193
Introduction	193
I. Analyse préalable et construction d'une grille d'analyse	195
I. 1. Parenté globale et parenté locale.....	195
I. 1. 1. Parentés globale et locale dans les programmes de SVT.....	196
I. 1. 2. Parentés globale et locale : conséquences envisageables dans les démarches d'enseignement.....	198
I. 2. Le rapport au temps.....	198
I. 2. 1. Le rapport au temps dans les programmes de SVT.....	199
I. 2. 2. Le rapport au temps : conséquences envisageables dans les démarches d'enseignement	201
I. 3. Problématique.....	201
II. Méthodologie	201
II. 1. Corpus.....	201
II. 2. Traitement des données.....	202
II. 2. 1. Grille d'analyse des fiches d'activités.....	204
II. 2. 1. 1. Construction d'une fiche prototypique.....	204
II. 2. 1. 2. Les indicateurs d'analyses.....	206
III. Les fiches d'activités analysées	207
III. 1. Présentation et commentaires.....	208
III. 1. 1. Les raisonnements scientifiques dans les fiches d'activités.....	208
III. 1. 2. L'arbre hybride et le rapport à la temporalité de l'évolution.....	212
Conclusion sur l'analyse des fiches d'activités	215
CONCLUSION GENERALE	218
BIBLIOGRAPHIE	226
ANNEXES	236

Introduction générale

La recherche que nous avons menée croise l'épistémologie des sciences de l'évolution et la didactique des sciences de la vie et de la Terre (SVT). Elle s'inscrit pleinement dans les problématiques de l'axe 1 du laboratoire S2HEP (Sciences, Sociétés, Historicité, Éducation et Pratiques) dans lequel la perspective épistémologique « *éclaire l'approche didactique centrée sur l'analyse des conditions de diffusion et d'appropriation des savoirs scientifiques.* »¹

La théorie contemporaine de l'évolution est un objet scientifique dont les fondements épistémologiques sont complexes. Elle est le cadre explicatif actuel et incontournable des sciences biologiques et allie les pratiques des sciences historiques, quand elle cherche à reconstituer l'histoire du monde vivant, et celle des sciences fonctionnalistes² quand elle cherche à comprendre les mécanismes de l'évolution (de Ricqlès, 1996 ; Gayon, 2004 ; Fortin, Lecointre, 2009 ; Orange Ravachol, 2012).

C'est également et logiquement un objet d'enseignement fondamental des SVT dont l'importance est rappelée dans les textes programmatiques et dans le socle commun de connaissances, des compétences et de la culture³. Ses thèmes sont abordés depuis la classe de sixième jusqu'à la classe de terminale S en SVT.

En tant qu'elle est le seul cadre scientifique explicatif de l'agencement et du déploiement du monde vivant passé et actuel, elle est au cœur de ce qui est spécifique et propre aux organismes vivants et elle donne ainsi une légitimité définitive à une discipline scolaire qui trouve là son pilier central. Enseigner l'évolution permet d'aborder le vivant à toutes les échelles d'organisation, à toutes les échelles de temps, et de mobiliser des pratiques et des raisonnements scientifiques variés.

En résumé, l'évolution est un objet qui réunit toutes les qualités pour être le « porte-drapeau » d'une discipline scolaire et celui de ses enseignants.

- 1 Extrait du texte de présentation de l'axe 1 du laboratoire S2HEP. Consultable à l'adresse suivante : <http://s2hep.univ-lyon1.fr/recherche/axe-1-savoirs-et-dispositifs-pour-l-enseignement-la-formation-et-la-mediation-en-science/>
- 2 Nous reprenons ici le vocabulaire utilisé par Denise Orange Ravachol dans le champ de la didactique des sciences de la Terre.
- 3 L'élève mobilise des connaissances sur : « les principales fonctions du corps humain, les caractéristiques et l'unité du monde vivant, l'évolution et la diversité des espèces. » Extrait du socle commun de connaissances, de compétences et de la culture. (décret n° 2015-372 du 31-3-2015 - J.O. Du 2-4-2015).

Son rôle central au sein des SVT a fait de son enseignement un objet de recherche récurrent en didactique des sciences. De nombreux travaux ont exploré l'enseignement de l'évolution à des niveaux d'étude différents et complémentaires. Nous espérons par notre travail contribuer à enrichir ce champ d'études. Un certain nombre de ces travaux ont porté sur les représentations des élèves et des enseignants sur l'évolution (Clément, 2004 ; Fortin, 1993, 2000). D'autres croisent les approches sur cet enseignement qui n'est pas sans soulever des polémiques en rapport avec le fait religieux (Coquidé, Tirard, 2009 ; Maurines, 2010).

Enfin, les nombreux résultats accumulés donnent une vision moins optimiste que nous pouvions le supposer de l'enseignement de l'évolution. Nous retenons ici un résultat qui a été à l'origine de notre questionnement. Un rapport de l'Institut National de la Recherche Pédagogique (INRP)⁴ édité en 2009⁵ nous informe que pour un certain nombre d'enseignants l'évolution du vivant est un sujet sensible qui peut poser problème⁶. Dans ce même rapport la première thématique de formation choisie par les enseignants en terme de connaissances scientifiques et de méthodologie est « l'évolution du vivant »⁷.

Comment expliquer que des enseignants de SVT soient « mal à l'aise » et ne se sentent pas suffisamment formés pour enseigner l'évolution, cadre fondamental de la biologie et de son enseignement ? Une réponse possible est de faire appel aux difficultés soulevées par l'émergence d'un discours créationniste plus prégnant dans les années 2000 en France et de l'opposition de certains élèves à l'évolution qui ont déstabilisé des enseignants de SVT. Mais justement, des enseignants de SVT ne devraient-ils pas avoir le bagage suffisant pour resituer ces questions dans leur contexte et expliquer comment faire la part des choses entre ce qui relève du champ scientifique et ce qui n'en relève pas ? Et ne devraient-ils pas être aptes à répondre scientifiquement et épistémologiquement sur la question des « preuves » de l'évolution qui sont un des points d'interrogation des élèves (« créationnistes » ou non) ?

Ce malaise réel et vécu, face à un discours dogmatique, n'est-il pas révélateur d'une

4 L'INRP a été dissout en 2010 et remplacé par l'Institut Français de l'Éducation (IFE).

5 Rapport d'enquête : « Savoirs Scientifiques et Enseignement – La circulation des savoirs scientifiques dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre » sous la direction de Françoise Morel-Deville, 2009.

6 *Ibid.*, p. 35.

7 *Ibid.*, p. 50.

difficulté des enseignants à aborder les questions d'ordre épistémologique ?

Ce constat nous a conduit à interroger les références épistémologiques des enseignants, c'est-à-dire à tenter d'en connaître les origines, leurs niveaux d'explicitation et leurs conséquences en terme d'enseignement. Ce questionnement s'inscrit pleinement dans l'actualité de l'institution scolaire car les programmes actuels de SVT mettent l'accent sur la nécessité de faire acquérir aux élèves une culture scientifique c'est-à-dire à la fois des connaissances scientifiques mais également des connaissances épistémologiques. Ces objectifs sont exprimés dans le préambule des programmes scolaires du lycée de la filière scientifique :

«La discipline vise trois objectifs essentiels : - aider à la construction d'une culture scientifique commune fondée sur des connaissances [...] et des modes de raisonnements propres aux sciences. » et « ...permettre aux enseignants de consacrer du temps à faire comprendre ce qu'est le savoir scientifique, son mode de construction et son évolution au cours de l'histoire des sciences. »⁸

Cependant, faire acquérir une culture scientifique aux élèves qui prenne en compte des connaissances épistémologiques nécessite en premier lieu que les enseignants en maîtrisent eux-mêmes toutes les modalités.

Les sciences de l'évolution, mobilisant les pratiques des sciences historiques et fonctionnalistes, permettent d'aborder des méthodes et des raisonnements scientifiques différents et complémentaires. Elles peuvent ainsi être un objet d'enseignement pertinent pour répondre aux attentes institutionnelles concernant les objectifs de connaissances sur la nature des sciences. L'introduction dans les programmes scolaires de la classification phylogénétique dans les années 2000 et la place importante qui lui est accordée conforte l'intérêt de cet enseignement en actant l'entrée d'un nouvel objet d'étude représentatif des sciences historiques dans l'enseignement des sciences.

S'appuyer sur l'enseignement de l'évolution est donc opportun dans notre quête des références épistémologiques des enseignants puisque les sciences de l'évolution balayent un large spectre épistémologique qu'il nous sera possible d'explorer par le prisme des démarches d'enseignement élaborées par les enseignants de SVT. Notre problématique générale est de mettre à jour l'épistémologie mobilisée dans l'enseignement de l'évolution,

8 MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Programme de sciences de la vie et de la Terre en classe de seconde et technologique », Préambule, *Bulletin officiel spécial*, 29 avril 2010, n°4, pp.1-2.

d'en préciser les concordances et les décalages avec l'épistémologie contemporaine de l'évolution et d'en comprendre les éventuelles conséquences didactiques. Nous sommes, au départ de ce travail, particulièrement attentif à la prise en compte des modalités des sciences historiques qui, de prime abord, nous semble un champ peu exploré dans l'enseignement des sciences en général.

Répondre à ces questionnements nécessite d'investir les champs institutionnels qui sont les points d'ancrage des enseignants et à partir desquels ils construisent leurs savoirs scientifiques, épistémologiques et pédagogiques. Nous parlons ici du domaine de la recherche sur l'évolution et le domaine institutionnel de l'enseignement représenté par l'ensemble des instructions officielles qui définissent les contenus et les pratiques d'enseignement à mettre en œuvre dans l'enseignement des SVT.

La recherche que nous entreprenons est ainsi structurée en plusieurs étapes dont l'échelle d'investigation est de plus en plus fine et focalise en dernier lieu sur un concept des sciences historiques : la parenté entre les êtres vivants. Cette approche par paliers successifs nous permet, à partir d'un état des lieux large de l'épistémologie contemporaine de l'évolution dans le monde de la recherche et dans le domaine scolaire, d'aboutir progressivement à des analyses fines sur l'épistémologie mobilisée par les enseignants dans l'enseignement d'un objet des sciences historiques. Chaque étape de cette investigation apporte des éléments explicatifs aux problèmes que nous avons posés.

Pour mettre à jour certains points de l'épistémologie mobilisée dans le domaine scolaire par les enseignants et également dans le milieu de la recherche en évolution nous utilisons un outil d'enquête, issu de la sociologie, que nous avons adapté à notre étude, le réseau d'association (Abric, De Rosa, 2003). Il nous permet d'avoir accès à certains aspects des représentations des enseignants et des chercheurs sur les sciences de l'évolution et nous donne des indices sur la nature du savoir scientifique mobilisé dans ces deux communautés.

L'analyse des textes officiels des programmes des SVT du secondaire sera conduite dans l'intention de repérer l'épistémologie qui sous-tend le discours de l'institution scolaire sur la science et spécialement la place accordée aux sciences historiques et fonctionnalistes ainsi que leurs degrés d'explicitation respectifs. Les résultats obtenus nous conduisent à mener une étude exploratoire des fiches d'activités d'enseignants portant sur la parenté entre les

êtres vivants.

Mais en premier lieu, notre recherche nécessite de présenter le cadre épistémologique et scientifique contemporain des sciences de l'évolution, cadre qui sera notre appui théorique à chaque niveau d'investigation. Il sera également la base de construction d'une grille d'analyse épistémologique dans laquelle nous définirons les critères de spécificité des sciences historiques et fonctionnalistes qui seront nos indicateurs d'analyse pour l'étude des sciences de l'évolution dans le monde scolaire.

Partie 1 : L'épistémologie des sciences de l'évolution : entre science historique et science fonctionnaliste

Introduction

La Théorie contemporaine de l'évolution poursuit un double objectif : expliquer le développement généalogique du monde vivant depuis l'origine de la vie à la fois dans ses composantes historiques et dans ses composantes fonctionnelles. Cet objectif d'explication du déploiement du monde vivant sur Terre n'est pas nouveau en soi et a mobilisé de nombreux savants depuis la publication de l'ouvrage fondateur de Charles Darwin, « *De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle, ou la Préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie* »⁹ en 1859. De nombreux travaux ont également porté sur l'histoire de la pensée darwinienne et sur le devenir de ses deux concepts originaux : la « descendance avec modification » et la « sélection naturelle ». Jean Gayon développe l'idée que ces deux fondamentaux de l'évolution ont connu des destins différents. La descendance avec modification n'est plus contestée (dans le milieu scientifique) et est aujourd'hui le socle de la pensée évolutionniste. La sélection naturelle est aussi pleinement intégrée dans l'explication évolutive cependant son pouvoir explicatif globalisant s'est réduit de manière conséquente à la lumière de l'exploration de nouveaux champs des sciences de l'évolution. Pour autant, le socle « darwinien » est toujours opérant et explique peut-être pourquoi la référence à Darwin est aussi prégnante aujourd'hui dans le milieu de la recherche en évolution. (Gayon, 1992, 2009). Massimo Pigliucci argumente dans le même sens en expliquant qu'il n'y a pas eu de réel changement de paradigme depuis la proposition darwinienne mais que la synthèse actuelle de l'évolution a intégré jusqu'ici les nouvelles connaissances et les nouvelles idées et il propose de la nommer « extended synthesis » (Pigliucci, 2009).

Cependant si la toile de fond darwinienne est persistante, ses contours et ses lignes directrices ont bougé et particulièrement depuis les années 70 à la faveur de nouvelles approches qui ont donné lieu à des débats et des remises en question de certains points de la « synthèse moderne » ou « théorie synthétique de l'évolution » (TSE), synthèse proposée à partir des années 30 par plusieurs auteurs dont les principaux sont Ernst Mayr, Theodosius Dobzhansky, Julian Huxley et Georges Simpson (Dobzhansky, 1937, Huxley,

9 Traduit de l'anglais « *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* ».

1942, Mayr, 1942, Simpson, 1944).

Un des changements opérés depuis la TSE concerne la manière d'envisager les objets d'étude de l'évolution et leurs relations causales. En effet, il est courant de distinguer dans le champ de l'évolution, celui qui explore la part historique de l'évolution et celui qui explore la part fonctionnelle c'est-à-dire les mécanismes. Dans le milieu des évolutionnistes cette bipolarisation s'est manifestée par l'émergence et l'utilisation des termes de « process¹⁰ » et de « patterns » de l'évolution comme objets emblématiques des champs concernés. Armand de Ricqlès précise que cette nouvelle manière d'aborder l'évolution est née de difficultés épistémologiques que ne résolvait pas la théorie synthétique dans laquelle ces deux pôles étaient « *largement confondus* » dans le sens où les patterns de l'évolution étaient entièrement déterminés par le process de la sélection naturelle (Padian, de Ricqlès, 2009).

Les « process » de l'évolution, qu'il est d'usage de traduire par « mécanismes » de l'évolution ne sont pas de même nature scientifique et épistémologique que les patterns de l'évolution qui sont les « patrons » ou les « structures » de l'évolution c'est-à-dire l'état actuel et passé de la biodiversité terrestre. Process et patterns de l'évolution mobilisent des modes d'investigations scientifiques différents qui conduisent à différencier dans les sciences de l'évolution ce qui relève d'une science historique et ce qui relève d'une science fonctionnaliste.

Les sciences historiques de l'évolution ont pour objectif d'expliquer l'agencement du monde vivant actuel et passé c'est-à-dire les patterns de l'évolution quant aux sciences fonctionnalistes elles visent à expliquer les processus généraux c'est-à-dire les process à l'œuvre dans l'évolution.

En accordant ainsi sa spécificité et par conséquent une forme d'autonomie à chacune des composantes des sciences de l'évolution, la distinction que caractérise le couple process/pattern, a d'abord le mérite de permettre une meilleure lisibilité des enjeux scientifiques de l'évolution et aussi de rendre plus aisée la caractérisation épistémologique des champs concernés. Elle rend aussi possible et nécessaire un examen stimulant des objets d'étude de l'évolution et des pratiques scientifiques qui leur sont associées.

¹⁰ Nous utiliserons dans cet exposé la forme francisée de ce terme anglais qui est la même au singulier et au pluriel.

Cependant cette catégorisation formelle ne doit pas occulter que le travail d'un chercheur en évolution ne se cantonne pas exclusivement à l'un des deux pôles. Les processus ne sont pas étudiés uniquement pour eux-mêmes mais toujours dans l'objectif d'en évaluer l'impact dans les patterns évolutifs et inversement les patterns sont étudiés à la lumière des processus susceptibles de les expliquer. Les sciences de l'évolution sont ainsi en tension entre un pôle historique et un pôle fonctionnaliste de la même manière que Denise Orange définit l'activité scientifique dans le domaine des sciences de la Terre (Orange Ravachol, 2012).

Nous retraçons dans la partie suivante les étapes principales qui ont conduit à la synthèse actuelle en prenant comme point de départ la TSE. Cette approche historique permet d'entrer plus avant dans le cadre scientifique actuel de l'évolution, d'en connaître les nouveaux champs de recherche, les nouveaux concepts et les réajustements qui se sont opérés depuis le milieu du XX^{ème} siècle. Ces éléments participent à la construction de notre cadre épistémologique et scientifique.

I. L'évolution : des savoirs enrichis et remodelés

I. 1. Aspects historiques : de la théorie synthétique à la synthèse actuelle

Introduction

Sur le plan scientifique, la polarisation des sciences de l'évolution entre science historique et science fonctionnaliste est le résultat d'un changement conceptuel important (et qui pourrait passer inaperçu) dans le sens où elle acte un découplage partiel entre la macro-évolution et la micro-évolution ce qui questionne le gradualisme, un des piliers de la TSE : les petits changements continus à l'échelle moléculaire sont responsables à plus ou moins long terme de l'ensemble des changements à l'échelle macroscopique et la macro-évolution est donc entièrement déterminée par la micro-évolution. Dans cette approche, les patterns (qui se définissent à l'échelle macroscopique) de l'évolution sont exclusivement le résultat des mécanismes biologiques de l'évolution (qui se définissent à l'échelle microscopique, par exemple les mutations génétiques). Nous suivons ci-dessous les principales étapes de ce changement.

I. 1. 1. La TSE : formulation et fondements

La TSE, qui a émergé à la fin des années 30, a réalisé une synthèse entre les nouvelles connaissances (acquises en génétique, systématique et paléontologie) et le cadre darwinien

originel qui était alors contesté (Gayon, 1992). La nouveauté essentielle apportée par la TSE est l'intégration des mécanismes génétiques expliquant les variations initiales au sein des populations. Elle n'est pas une « nouvelle » théorie de l'évolution mais elle fait l'objet d'un « large consensus méthodologique » dans la communauté scientifique de l'époque. Les idées maîtresses sont les suivantes :

- Les changements évolutifs sont basés sur des variations qui ont toutes une origine génétique.
- La sélection naturelle est le principal mécanisme évolutif.
- L'évolution est graduelle c'est à dire que l'accumulation de petits changements à l'échelle moléculaire déterminent les changements macroscopiques. (Gayon, 2006)

Autrement dit « *La transformation évolutive est adaptative et se réalise de façon lente et graduelle, cumulative, par addition de minimes modifications sous l'influence de la sélection naturelle* » (De Ricqlès, Padian, 2009, p. 349).

Un élément central de cette synthèse est la place prédominante accordée à la sélection naturelle et la relégation de la dérive génétique à un épiphénomène. La théorie synthétique postule, d'une part, que l'accumulation de petites variations (mutations) au cours d'un temps long suffit à expliquer l'ensemble des phénomènes évolutifs : c'est le gradualisme. D'autre part, elle fait de la sélection naturelle le « moteur » déterminant de l'évolution. Les variations génétiques c'est-à-dire les mutations génétiques (micro-évolution) sont la cause unique de la macro-évolution. Jusque dans les années 70 cette synthèse fera consensus et donnera lieu à des travaux importants polarisés sur la génétique et la biologie moléculaire.

1. 1. 2. Des remises en questions

Cependant dans les années 70, des critiques se font jour notamment sous l'impulsion de Stephen Jay Gould et Nils Elredge. Les points principaux de dissension sont le gradualisme, l'importance relative de la sélection et de la dérive, et la place de l'adaptation. Ce qui est remis en question est d'une part le déterminisme total de la micro-évolution sur la macro-évolution et d'autre part le pouvoir explicatif global de la sélection naturelle et de l'adaptation.

Nous devons également à Stephen Jay Gould d'avoir contribué à remettre en question ce déterminisme présent dans la TSE quand il a introduit ou réhabilité dans le champ de l'évolutionnisme darwinien un élément essentiel : la contingence historique. (Gould, 1998) A partir de l'étude approfondie de la faune de Burgess il argumente que si l'on redéroulait le fil de l'évolution du vivant, il est fort probable que le scénario évolutif ne serait pas le même et la biodiversité actuelle et passée serait différente. L'évolution aurait pu se dérouler « autrement » et cette ouverture sur des possibles autres est liée à la survenue d'événements contingents, non forcément biologiques, dont les conséquences sont peu prévisibles. La prise en compte de la contingence historique dans le déploiement des espèces vivantes au cours du temps empêchent de déterminer totalement les patterns de l'évolution par les « process » biologiques et le gradualisme darwinien n'est plus suffisant aux explications évolutives.

1. 1. 3. De nouveaux champs d'investigation

C'est à partir des années 60 que progressivement des champs nouveaux d'investigation contribuent à élargir le champ de la recherche en évolution et conduisent à mettre en discussion certains concepts fondamentaux.

Guillaume Lecointre propose de classer ces apports selon six axes principaux présentés chronologiquement (Lecointre, 2009).

L'essor de la phylogénie

La refondation profonde de la systématique avec l'avènement de la cladistique sous l'influence de Willi Hennig dans les années 50 a fortement contribué à autonomiser l'étude des patterns de l'évolution (Hennig, 1966). La phylogénie, tout en intégrant le cadre évolutif (un des fondements étant l'ascendance commune des êtres vivants), utilise des caractères morphologiques et moléculaires c'est-à-dire les structures (= patterns) des organismes pour établir des parentés sans se référer expressément aux process évolutifs.

La dérive génétique

En 1968, Motoo Kimura, généticien, propose, à partir d'études du polymorphisme enzymatique, que la plupart des mutations sont sélectivement neutres et que les processus aléatoires, que l'on nomme dérive génétique, sont majoritaires dans l'évolution. Le concept

d'horloge moléculaire apparaît (Kimura, 1982).

La tectonique des plaques

A partir des années 60, la formalisation de la théorie de la tectonique des plaques oblige à sortir du cadre strict d'une paléogéographie fixiste et d'une biogéographie dispersionniste et à entrer dans celui d'une biogéographie de la vicariance. L'histoire des espèces et de leur déploiement géographique prend en compte la mobilité lithosphérique. La contingence historique se déploie dans le champ des sciences de l'évolution.

L'embryologie évolutive

Dans les années 70 se développe une nouvelle discipline, l'embryologie évolutive (evo-devo). Le lien se fait entre ontogenèse et changements macro-évolutifs par l'intermédiaire notamment des gènes du développement. Les processus d'hétérochronie pourraient également expliquer certains changements rapides. L'embryologie évolutive oblige finalement à prendre en compte des contraintes internes (physiologiques, anatomiques) des organismes qui ne sont plus dès lors malléables à l'infini par l'évolution. Le développement de cette discipline et les questions qu'elle soulève ont permis également de mettre à jour des phénomènes épigénétiques qui apportent des explications complémentaires dans le domaine de l'hérédité (Morange, 2005).

Les équilibres ponctués

En 1972, Stephen Jay Gould et Niels Elredge proposent le modèle des équilibres ponctués qui se veut le contre-point du gradualisme darwinien (Elredge, Gould 1972).

L'exaptation

En 1979, Stephen Jay Gould et Elisabeth S. Vrba proposent le concept d'exaptation qui permet de déconnecter dans le temps et en partie la sélection et l'adaptation et fait entrer dans le jeu une forme d'opportunisme du vivant (Gould, Vrba, 1982).

Les transferts de gènes

Nous ajoutons à cette liste la découverte des transferts horizontaux de gènes qui a lieu dans les années 60 au Japon (K. Ochiai, T. Yamanaka, K. Kimura et O. Sawada, 1960)

mais qui seront étudiés en occident dans les années 80 (Syvanen, 1985). L'hérédité verticale n'est plus la seule source de variation génétique. Ces transferts sont pris en compte aujourd'hui dans les travaux de phylogénie et ils modifient la représentation classique des phylogénies par des arbres connexes non cycliques et nécessitent de représenter certaines filiations par des réseaux phylogénétiques.

Commentaires

Chacun de ces apports contribue à modifier sensiblement les lignes de la TSE, et même si ces concepts majeurs ne changent pas de nom, ils sont modifiés dans leur intension et leur extension. De nouveaux éléments d'explication sont à prendre en compte et on assiste à la mise en place d'une multiplicité des causes possibles des faits évolutifs et également à un élargissement des niveaux d'organisation du vivant pris en compte dans les schémas évolutifs. Stephen Jay Gould parle « d'expansion » du cadre théorique darwinien. Selon lui les concepts fondamentaux sont les mêmes mais ils sont reformulés (Gould, 2002). Jean Gayon, soutient lui que « les deux principes fondamentaux du darwinisme, (descendance avec modification et sélection naturelle) ont été à la fois étendus dans leurs usages, et révisés dans leurs fondements. » (Gayon, 2011). Armand de Ricqlès et Kevin Padian nomment cette nouvelle synthèse « super synthèse » et expliquent que « *La théorie synthétique a fortement évolué par l'incorporation (et donc le dépassement) de points de vue initialement très critiques et par l'émergence de champs nouveaux venant la compléter.* » (De Ricqlès, Padian, 2009)

1. 2. Des concepts « remodelés »

Introduction

Les changements qui ont affecté les sciences de l'évolution depuis la TSE ont des conséquences en terme de contenu pour les concepts majeurs de l'évolution qui sans avoir changé d'appellation ne recouvrent plus tout à fait les mêmes significations. Il est important pour construire notre cadre scientifique de connaître le sens actualisé des concepts majeurs de l'évolution qui ont connu des réajustements depuis la TSE. Ces transformations ne sont pas toutes actées pour autant et elles ont généré des débats au sein de la communauté qui persistent aujourd'hui. Certains auteurs appellent de leurs vœux une réflexion approfondie sur l'importance réelle des changements conceptuels qui s'opèrent dans le champ de

l'évolution (Laland et al., 2014). Les thèmes discutés sont notamment : l'importance relative de la sélection et de la dérive génétique, les niveaux de sélection, la fitness, l'hérédité et les processus épigénétiques. La connaissance de l'état actuel de ces débats nous donnera également des clés pour l'analyse de nos résultats dans le monde de la recherche sur l'évolution et dans celui des enseignants.

1. 2. 1. La sélection et ses contours

Si nous nous intéressons au concept de sélection naturelle à travers les écrits actuels des biologistes et ceux des épistémologues de l'évolution, c'est qu'il est un concept fondamental et incontournable de l'évolution. C'est d'autre part le « grand gagnant » de l'enquête que nous avons réalisée avec des chercheurs en évolution et des enseignants de SVT sur les concepts majeurs de l'Évolution. Mais l'histoire de ce concept est jalonnée de réajustements permanents depuis la formulation darwinienne.

Jean Gayon rappelle que la théorie de la sélection naturelle proposée par Darwin était fortement critiquée dès le début du XX^{ème} siècle. C'est l'aspect lent et graduel, incompatible avec les découvertes sur l'hérédité, qui était le plus contesté. C'est au moment de l'essor de la génétique à partir des années 20 que la sélection naturelle fut en quelque sorte « réhabilitée » mais dans une version différenciée de l'originale. Quand Darwin parle de « La théorie de la descendance avec modification par la variation et par la sélection naturelle », il faut se rappeler qu'à son époque les termes de variation et de descendance ne s'appuient sur aucune connaissance théorique. Les causes des variations et les processus de descendance sont inconnus. Cependant, ils sont observés. De plus, Darwin employait parfois le terme d'hérédité (« le puissant principe d'hérédité ») pour celui de descendance. Jean Gayon fait remarquer que si l'on remplace dans l'intitulé « descendance » par « hérédité », alors la sélection devient une cause de la transformation des caractères et non plus seulement la cause des modifications des espèces ce qui conduit à laisser ouvert le passage vers l'hérédité des caractères acquis que Darwin n'a jamais clairement reniée. Il existe ainsi une ambiguïté sur le rôle de la sélection darwinienne ainsi qu'une fragilité du concept car il est lié à deux notions non définies à l'époque de Darwin : l'hérédité et la variation. Le principe de sélection portait dès sa naissance les conditions de sa critique. C'est à partir de l'essor de la génétique et de l'émergence de la TSE que le concept de sélection naturelle a été débarrassé de ces ambivalences et inscrit dans les connaissances

scientifiques actuelles (Gayon, 1992).

Aujourd'hui, hérédité et variation font référence à des processus largement étudiés et compris et la sélection n'est plus entendue dans le sens où elle pourrait modifier l'hérédité. La sélection est un processus qui agit sur des variations héréditaires.

Les questions qui agitent aujourd'hui le milieu scientifique concernent les niveaux de sélection. L'idée que la sélection agirait seulement sur des phénotypes macroscopiques est questionnée. La proposition de Richard Dawkins du concept de « gène égoïste » ébranle le schème darwinien et provoque des polémiques mais permet d'ouvrir un champ de réflexion important. (Dawkins, 1976 ; De Ricqlès, Padian, 2009) A une échelle supra organique, la « sélection de parentèle » et la « sélection de groupe » propose une alternative à la cible organique de la sélection. La sélection de parentèle est un mécanisme expliquant les comportements altruistes, un individu pouvant préférer la survie des individus avec qui il est le plus apparenté à sa propre survie. La «sélection de groupe » dans la même optique favorise les comportements qui assurent la survie globale d'un groupe par rapport à un autre quitte à « sacrifier » certains individus du groupe. La sélection dans ces cas agit à l'échelle des populations et non plus à celle de l'individu strict.

Sélection et adaptation

Dans le milieu des évolutionnistes un débat existe aujourd'hui entre les « adaptationnistes », pour qui, dit rapidement, tout fait évolutif est le fruit d'une adaptation, et les « anti-adaptationnistes » pour qui la sélection n'est pas forcément le processus principal de chaque fait évolutif mais que des processus notamment aléatoires sont également opérants (Saches, 2011).

Le concept d'adaptation est d'un emploi délicat mais il est indispensable en tant qu'il est le seul capable d'expliquer l'ajustement général des formes vivantes à leur environnement (Grandcolas, 2011). Les autres processus, bien qu'opérationnels, ne peuvent suffire à expliquer l'ajustement à ce degré de généralité. Il se peut qu'une adaptation soit contingente mais cette possibilité ne peut pas se répliquer à une grande échelle.

Selon cet auteur, l'adaptation est un caractère acquis (une innovation évolutive) et maintenu par sélection naturelle. Les deux parties de la définition doivent être vérifiées pour que l'adaptation soit validée. Le succès du concept d'adaptation de Darwin a été

immédiat dès sa formulation, trop sans doute, car il permettait de penser l'évolution en terme de progrès et d'échelle des êtres, thèses intuitivement attirantes. Darwin a toujours rejeté cet aspect de l'adaptation et d'un éventuel progrès biologique mais il lui fut difficile de contrôler l'usage naïf de ce concept. Dans les années 60, la thèse adaptationniste culmine. Cependant, dans les années 70, Stephen Jay Gould questionne un adaptationnisme trop orthodoxe et le concept d'exaptation qu'ils développent, en déconnectant dans le temps sélection et adaptation, bouscule l'hégémonie de la sélection naturelle.

Sélection et dérive

La théorie neutraliste de Motoo Kimura met en cause directement l'action omniprésente de la sélection naturelle. En mettant à jour les mutations neutres, et après la découverte que le polymorphisme génétique était beaucoup plus élevé que prévu il apparaît que le génome d'un organisme est l'objet d'une dynamique propre dont certains éléments échappent à la sélection. Cependant certaines régions de l'ADN sont hautement sensibles aux mutations (régions codantes pour les sites actifs enzymatiques par exemple) et donc soumises fortement à la sélection. Ces découvertes, sans remettre en cause l'existence même de la sélection, redessinent son champ d'application et font des processus aléatoires des acteurs de l'évolution à part entière. L'ubiquité de la sélection à tous les niveaux de fonctionnement du vivant n'est plus de mise.

D'autre part, certaines mutations peuvent conduire à des phénotypes nouveaux qui ne modifient pas la fitness de l'individu. Dans ce cas, la diffusion des allèles concernés dans la descendance d'une population sera aléatoire (il pourra se fixer ou disparaître) et cela d'autant plus que l'effectif initial de la population est réduit.

Nous voyons finalement l'entrée de nouveaux processus dans le jeu évolutif, des processus notamment aléatoires, qui disputent à la sélection sa suprématie.

1. 2. 2. L'hérédité

A l'hérédité verticale s'ajoute aujourd'hui une hérédité horizontale qui recouvre les processus d'apport de matériel génétique en dehors de la transmission génétique descendante. Si ces transferts sont bien connus chez les procaryotes et leur importance au cours de l'évolution bien référencée, leur impact sur les eucaryotes et les pluricellulaires est encore difficile à évaluer. Ajoutons les phénomènes d'hérédité cytoplasmique et le

microchimérisme au tableau des processus capables d'intervenir dans l'hérédité descendante (Heams, 2011). Les processus épigénétiques sont eux aussi impliqués dans l'hérédité verticale par la transmission d'un certain état de l'ADN (méthylation acétylation,...) qui persistent sur quelques générations. Certains biologistes incluent également dans le concept d'hérédité, la transmission de comportements ou d'éléments culturels. Devant l'élargissement important de ce concept par le développement des connaissances sur l'hérédité non génétique, une redéfinition des contours de l'hérédité est proposée par Francesca Merlin qui ouvre une discussion stimulante sur les relations entre hérédité, transmission, variation et reproduction (Merlin, 2014).

1. 2. 3. La contingence historique

La théorie de la tectonique des plaques a un impact important sur la pensée évolutionniste. Celle-ci envisageait jusque là une évolution du vivant dans un cadre spatial relativement fixe (paléogéographie fixiste) dans lequel les espèces se dispersaient, s'isolaient ou migraient. Aujourd'hui, la mobilité des continents et leur fragmentation sont parties prenantes des explications des faits évolutifs. De la même manière, les événements d'origine extra-terrestre (météorites), les événements géologiques majeurs (volcanisme des points chauds) et les changements climatiques liés à la variation de l'orbite de la Terre ont impacté l'évolution du vivant. Ils sont notamment impliqués dans les extinctions majeures qui se sont produites à plusieurs reprises. La prise en compte de la contingence historique dans l'explication évolutionniste remet en question une forme radicale du déterminisme entre micro-évolution et macro-évolution (de Ricqlès, Padian 2009).

Pour résumer, les transformations de la pensée évolutionniste, depuis la TSE, sont d'ordre scientifique et épistémologique.

Nous constatons un enrichissement scientifique à tous les niveaux d'organisation apporté par le développement des disciplines nouvelles ou renouvelées telles que l'embryologie évolutive ou la phylogénie. La biologie moléculaire continue également d'apporter des connaissances essentielles sur les génomes et leur dynamique.

Ces nouveautés obligent à repréciser les contenus et les limites des concepts de l'évolution et conduit également à redéfinir les liens semblant évidents entre certains concepts. Sélection et adaptation ne sont plus, par exemple, en lien direct dans le cas des

processus d'exaptation qui déconnectent dans le temps l'émergence d'un organe et sa fonction. De la même façon, l'hérédité par le biais entre autre des processus épigénétiques et des transferts horizontaux, n'est plus inféodée à la seule reproduction ni à la présence de gènes parentaux.

D'un point de vue épistémologique, le réductionnisme initial est remplacé par une vision « hiérarchique » de l'évolution dans laquelle le niveau macroscopique n'est plus entièrement déterminé par le niveau microscopique (Gould, 2002). De même le déterminisme biologique absolu, prégnant dans la TSE, doit faire une place importante aux processus aléatoires et probabilistes à coté de la sélection. La contingence historique est intégrée aux explications évolutionnistes.

Un autre mouvement épistémologique est à relever. Il concerne la distinction process/pattern. Jean Gayon précise qu'elle est aujourd'hui banale (Gayon, 2011). Mais il semble qu'elle soit en même temps assez récente. Armand de Ricqlès précise que dans la TSE cette distinction n'existait pas (De Ricqlès, Padian, 2009). Nous devons en partie cette bipolarisation actuelle au développement spectaculaire de la recherche phylogénétique qui est venue combler un vide théorique et méthodologique qui laissait en friche l'histoire du vivant. Cette nouvelle discipline qui a développé des méthodes rigoureuses et reproductibles se distingue des recherches sur les mécanismes de l'évolution par le type de raisonnement scientifique qu'elle met en œuvre c'est-à-dire l'inférence inductive : à partir des données actuelles (génétiques ou morphologiques), et dans le cadre théorique de l'évolution, les phylogénéticiens reconstituent l'histoire du vivant en se basant sur l'homologie des caractères (Gayon, 2011). Dans cette science la preuve expérimentale n'a pas cours. C'est la cohérence globale des reconstructions phylogénétiques qui assure la vraisemblance de l'ensemble. *A contrario*, des expérimentations sur la sélection, la dérive ou l'hérédité sont possibles en laboratoire et le régime de preuve est dans ce cas expérimental.

Ainsi le paysage conceptuel de l'évolution actuel s'est développé et modifié depuis la TSE. La boîte à outils, scientifique et épistémologique, s'est enrichie et fournit aujourd'hui des éléments d'explication nouveaux des faits évolutifs. Ces nouvelles pistes peuvent se croiser ou non mais elles coexistent. Les oppositions passées (gradualisme/ équilibres ponctués,...) deviennent des pôles d'un curseur qui bouge selon les faits considérés. Nous

constatons que la théorie de l'évolution, sans remettre fondamentalement en cause les fondements darwiniens, s'est enrichie scientifiquement et ouverte épistémologiquement. Comme le dit Jean Gayon :

« Les évolutionnistes sont devenus plus pragmatiques, davantage pluralistes et aussi plus contingentistes, c'est-à-dire plus attentifs à la complexité changeante des circonstances qui ont façonné l'histoire de la vie. » (Gayon, 2009, p. 339)

I. 3. Une formulation actuelle de la théorie de l'évolution

Anouk Barberousse propose une formulation générale et actualisée de la théorie de l'évolution qui *« semble faire consensus »* selon son auteur.

« De façon schématique, nous pouvons dire que la théorie de l'évolution prend pour point de départ le fait que les organismes peuvent se reproduire et que les descendants issus de ces événements de reproduction peuvent présenter des différences avec leurs parents.

D'autre part, chaque organisme a une existence délimitée dans l'espace et le temps. La théorie de l'évolution nous dit que dans ce contexte, la structure du réseau généalogique dépend des processus de tri aléatoire (dérive) et sélectif (sélection naturelle) qui agissent à chaque génération sur les organismes.

L'action de ces deux processus est déterminée à la fois par les caractéristiques intrinsèques des organismes et par le contexte spatio-temporel dans lequel ils se trouvent. » (Barberousse, 2011, p. 369)

Cette formulation d'Anouk Barberousse intègre, ou peut intégrer potentiellement, l'ensemble des remaniements et des nouveaux champs d'études qui ont progressivement rejoint le champ des sciences de l'évolution et que nous avons listés précédemment. Par exemple, la sélection n'est pas présentée comme prédominante par rapport à la dérive génétique, et la dernière phrase laisse la place aux contraintes embryologiques ce qui donne de la visibilité au domaine de l'embryologie évolutive. Nous nous appuyerons sur cette formulation, certes très générale, mais qui peut prendre en compte des réajustements opérés depuis la TSE, dans nos analyses ultérieures.

II. Les sciences de l'évolution : cadre scientifique et épistémologique

II.1. Savoirs et concepts scientifiques

La formulation d'Anouk Barberousse nous intéresse doublement car elle intègre une dimension essentielle du savoir scientifique et nous permet de présenter notre placement

épistémologique sur les savoirs et les concepts scientifiques.

Les savoirs scientifiques

Nous empruntons ici les fondements épistémologiques sur la nature des savoirs scientifiques qui sont développés dans le cadre de la problématisation construit par Christian Orange et Michel Fabre (Fabre et Orange, 1997 ; Orange, 2012 ; Orange-Ravachol, 2011). Ces auteurs s'appuient sur les réflexions, entre autres, de Karl Popper, Gaston Bachelard, et Georges Canguilhem qui tous mettent en lumière le lien consubstantiel entre problème scientifique et savoir scientifique.

« Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. » (Bachelard, 2004 [1938], p.16)

Un savoir scientifique est donc de nature explicative et c'est à ce titre qu'il peut être opérant et heuristique. Un savoir scientifique est la réponse à un problème et la relation savoir-problème est dynamique et nodale dans la construction des savoirs. Les problèmes scientifiques mettent en tension un champ de contraintes (de différentes natures) et un champ des possibles (explications envisageables) qui s'articulent, se nourrissent l'un l'autre en générant du savoir apodictique c'est-à-dire un savoir nécessaire, qui ne peut pas être autre au regard des contraintes connues. Le savoir scientifique se construit en contact étroit avec les problèmes qui lui donnent naissance et accède ainsi à un caractère de nécessité. Il atteint ainsi sa dimension apodictique (c'est comme cela car ça ne peut pas être autrement au regard des contraintes) qui le distingue d'un savoir assertorique (ça pourrait être autrement) (Orange, 2005).

Nous nous intéressons spécialement aux contraintes constitutives d'un savoir scientifique. Elles peuvent être de différentes natures : « *contraintes empiriques pertinentes, repères théoriques intéressants, formes d'explications possibles* » (Orange Ravachol, 2011, p.25).

Dans le champ de l'évolution, les contraintes qui rendent possibles le processus évolutif sont les contraintes biologiques propres aux organismes vivants. Ce sont ce que nous appellerons les « conditions de possibilité » de l'évolution et elles correspondent à des

propriétés biologiques des êtres vivants : la variation, la reproduction, l'hérédité. Sans l'une ou l'autre de ces propriétés biologiques l'évolution du vivant ne pourrait être telle que nous la connaissons. L'énoncé de la théorie de l'évolution d'Anouk Barberousse intègre ces conditions de possibilité de l'évolution dans ses deux premières phrases ce qui lui confère, selon nous, une dimension apodictique :

« De façon schématique, nous pouvons dire que la théorie de l'évolution prend pour point de départ le fait que les organismes peuvent se reproduire et que les descendants issus de ces événements de reproduction peuvent présenter des différences avec leurs parents. D'autre part, chaque organisme a une existence délimitée dans l'espace et le temps. »

Les êtres vivants se reproduisent, les descendants peuvent présenter des variations vis à vis de leurs parents mais en héritent aussi des éléments. Les conditions de possibilité de l'évolution sont clairement énoncées et balisent le champ des possibles de l'évolution.

Ces réflexions sur les savoirs scientifiques conduisent également à placer la validité d'un savoir du côté de son caractère de nécessité et comme le dit Denise Orange :

« Dit autrement le savoir scientifique se caractérise moins par une focalisation sur les solutions des problèmes dans ce qu'elles ont de vrai ou de faux (savoir ne serait que savoir que) que par une focalisation sur la construction des conditions de possibilité de ces solutions, avec mise en avant du possible et du nécessaire. » (Orange-Ravachol, 2011, p.25)

Les concepts scientifiques

Les savoirs scientifiques mobilisent et génèrent des concepts scientifiques. Un concept scientifique est lui-même un « concept » dont la définition a de multiples facettes. Nous reprenons ici les travaux de Guy Rumelhard qui a travaillé sur de nombreux concepts scientifiques en biologie et qui en propose une définition développée.

« Un concept scientifique comporte une dénomination et une définition. Le nom doit être le plus univoque possible.

Il doit remplir une fonction opératoire : fonction de discrimination ou de jugement dans l'interprétation de certaines observations ou expériences. La valeur cognitive d'un concept est liée à sa fonction opératoire : il offre la possibilité de développement et de progrès du savoir (valeur heuristique).

Tout concept possède une extension et une compréhension, un domaine et des limites de validité liés à la définition même du concept.

Un concept fonctionne toujours en relation avec d'autres concepts théoriques et techniques. Il est un nœud dans un réseau de relations, cohérent et organisé, et non un

élément disposé à coté d'autres par simple juxtaposition. Ainsi la formulation d'un nouveau concept peut révéler des contradictions, permettre de formuler différemment des questions dans d'autres domaines. Elle implique un « bougé » dans des relations entre concepts, une modification des définitions. Il y a ainsi une histoire des concepts.» (Rumelhard, 1986, p. 13)

Nous nous référerons à cette définition des concepts scientifiques dans l'analyse de nos résultats et nous tiendrons compte particulièrement de leur aspect relationnel.

II. 2. Sciences historiques et fonctionnalistes dans le champ de l'évolution

II. 2. 1. Aspects historiques

Affirmer que les sciences de l'évolution investissent à la fois un champ de recherche historique et un champ de recherche fonctionnaliste est aujourd'hui consensuel (Gayon, 2004 ; De Ricqlès, Padian, 2009 ; Mayr, 1982 ; Gould, 2002 ; Pigliucci, 2013) même si des difficultés persistent dans leur reconnaissance réciproque. Ce cadre épistémologique résulte d'un long cheminement intellectuel qui a débuté au début du XVIII^{ème} siècle avec le développement de la biologie et les relations complexes qu'elle a entretenues avec l'histoire naturelle, seule méthode d'étude de la nature de l'époque. Comme le souligne Armand de Ricqlès, depuis lors, entre le « Biologiste » et le « Naturaliste » il existe un « contentieux latent » qui, s'il est en voie d'apaisement, a encore des conséquences actuelles et notamment sur l'enseignement de l'évolution (De Ricqlès, 1996, p. 1). La teneur des débats qui ont jalonné ce compagnonnage chaotique nous intéresse directement puisqu'elle porte notamment sur la place et la scientificité de l'évolution mais aussi sur celles des sciences « historiques » et plus globalement sur les relations entre la biologie et l'évolution. Et afin de préciser les contours du cadre épistémologique que nous construisons et avant d'approfondir la caractérisation des sciences historiques et fonctionnalistes de l'évolution, une réflexion et une clarification sur les relations entre les sciences biologiques, les sciences de l'évolution et les sciences historiques, s'impose.

Si aujourd'hui la relation entre l'évolution et la biologie semble fusionnelle, à en croire le célèbre adage de Dobhansky : « Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution. » (Dobhansky, 1973), dont le succès éditorial ne se dément pas, les liens entre évolution et biologie n'ont pas toujours connu le rapprochement évident actuel. Mais il est intéressant de constater que les axes de recherche actuels des sciences de l'évolution rejoignent en réalité ceux de la biologie naissante qui comme l'explique Jean Gayon, dès

son émergence en 1802, s'est donnée « *un double objectif : d'une part découvrir les lois universelles qui rendent possible la vie en tant que fait général, d'autre part dresser le tableau de sa diversité et de son histoire.* » (Gayon, 2004, p. 1). Il est entendu que la biologie n'a pu elle-même émerger qu'à partir du moment où la nature du vivant était reconnue et devenait compatible avec une exploration de type scientifique, car comme le dit Michel Foucault : « *Jusqu'à la fin du XVIII siècle, la vie n'existe pas* » (Foucault, 1966, cité par Andler, 2002, p. 483). Pour Lamarck et Tréviranus, qui furent parmi les premiers à utiliser le terme de biologie la distinction entre éléments vivants et non vivants est clairement posée et apparaît dans les titres de leurs ouvrages respectifs : « *Recherches sur l'organisation des corps vivants* » (Lamarck, 1802) et « *Biology oder Philosophie der lebenden Natur* » (Treviranus, 1802).

Mais ce n'est pas parce qu'elle est baptisée que la biologie devient *de facto* un domaine reconnu et défini. D'après Anne Fagot-Largeault, c'est dans la première moitié du XIX^{ème} siècle que les sciences du vivant ou biologie vont progressivement se constituer en tant que domaine scientifique spécifique en regroupant des disciplines autonomes pré-existantes (botanique, zoologie, physiologie issue de la médecine, anatomo-pathologie) et en les intégrant ensuite dans les disciplines émergentes que sont la biologie cellulaire, la biologie de l'évolution et la biologie moléculaire au XX^{ème} siècle (Fagot-Largeault, 2002).

Darwin se présentait non pas comme un biologiste mais comme un naturaliste et ses recherches s'inscrivaient dans la tradition de l'histoire naturelle qu'il a cependant contribué à remanier profondément. Jusqu'au XIX^{ème} siècle, entreprendre une « *histoire naturelle* » c'est se donner l'ambition de connaître, de décrire et de classer les éléments naturels au sens large ce qui inclut, au delà des animaux et des végétaux, des domaines tels que la minéralogie et la chimie. Cependant les classifications proposées sont subjectives et les critères utilisés varient d'un auteur à l'autre. La classification la plus célèbre est celle de Carl von Linné (*La classification des plantes*, 1738 et le *Système de la Nature*, 1758) et elle est censée représenter l'ordre de la création. Elle sera remise en question par Georges-Louis Leclerc de Buffon, contemporain de Linné qui pointe le caractère artificiel de ces classifications et qui choisit de présenter une histoire naturelle dans laquelle les animaux sont présentés en fonction de leur familiarité et de leur utilité, critères qui, selon lui, sont aussi valables que d'autres (Roger, 1992).

En réalité il faut comprendre que ces « histoires naturelles » ne sont pas « historiques » dans le sens moderne du terme c'est-à-dire qu'elles n'envisagent pas les éléments naturels comme existants dans un devenir constitué d'une succession d'événements temporellement situés. (Fagot-Largeault, 2002) Proposer une histoire naturelle relevait davantage de la réalisation d'un inventaire organisé. Rappelons qu'il était difficile de penser autrement à une époque où la vision dominante est celle d'une nature immuable et d'origine divine qui n'a donc pas « d'histoire ».

Avec Charles Darwin, et son ouvrage sur l'origine des espèces en 1859, les êtres vivants entrent véritablement dans la temporalité historique et la seule classification scientifique se doit d'être généalogique. L'historicité du vivant est actée.

Ainsi les objets d'étude de l'histoire naturelle en devenant des objets matériels et historiques changent de statut épistémologique ce qui transforme les objectifs et les méthodes d'investigation de l'histoire naturelle qui à la fin du XIX^{ème} siècle et au XX^{ème} siècle devient progressivement la biologie évolutive dans le sillage de l'héritage darwinien. Selon Stephen Jay Gould, un des apports essentiels de Darwin est d'avoir posé les jalons d'une méthode d'investigation capable d'étudier les « *données de l'histoire* » (Gould, 2002) de manière scientifique, autrement dit, d'avoir construit les fondements théoriques et méthodologiques des « sciences historiques » de l'évolution que les anglo-saxons nommeront « *evolutionary biology* ». Face à elle, et notamment en France, la biologie qui se développe sous l'influence de grands savants de l'époque (Louis Pasteur, Claude Bernard) et aussi de philosophes comme Auguste Comte, est « *une biologie générale très expérimentale et souvent très investie par une mouvance biomédicale.* » (De Ricqlès, 1996, p. 4)

Nous voyons ainsi s'affirmer au sein de la biologie deux « traditions scientifiques » qui vont se développer et cohabiter : d'un côté la biologie « fonctionnelle » qui mobilise les pratiques d'une science basée sur l'expérimentation et de l'autre côté la biologie « évolutive » mobilisant les pratiques des sciences historiques. Cependant, selon Michel Morange, la reconnaissance réciproque de ces deux approches qui devraient être complémentaires n'est pas encore achevée (Morange, 2011).

Cette approche dichotomique est celle que présente Ernst Mayr, co-auteur de la TSE. Dans son ouvrage « *Histoire de la biologie, Diversité, évolution et hérédité* » il explicite la

distinction entre biologie historique, (qui est pour lui synonyme de biologie évolutive) et biologie fonctionnaliste. La ligne de partage passe par le type d'explication causale recherchée et par la méthodologie mise en œuvre. Le biologiste fonctionnaliste cherche les causes proximales, c'est-à-dire l'explication du « *mode d'actions des éléments structuraux et leurs interactions, des molécules jusqu'aux organes et aux organismes entiers.* » (Mayr, 1995, p.107) et cela dans une recherche d'explication anhistorique. Le biologiste « évolutionniste » cherche lui les causes ultimes c'est-à-dire « *les causes des caractéristiques propres des organismes, et en particulier de leurs adaptations* » (Mayr, 1995, p.108). Leurs méthodologies diffèrent : « *La principale technique qu'utilise le biologiste fonctionnaliste est l'expérience, et son approche est la même que celle du physicien ou du chimiste.* » (Mayr, 1995, p.107) Pour le biologiste évolutionniste « *presque tous les phénomènes et processus sont expliqués grâce à des inférences tirées d'études comparatives.* » Mais bien qu'il plaide pour une approche complémentaire des problèmes de la biologie, « *Aucun problème biologique n'est résolu tant que les causes proximales et évolutives n'ont pas été éclaircies* » (Mayr, p.113) son propos cantonne malgré tout l'étude de l'évolution à la biologie évolutive et donc aux seules méthodes des sciences historiques.

Or, aujourd'hui, si effectivement les chercheurs en évolution travaillent sur les « patterns » avec les pratiques associées aux sciences historiques, ils travaillent également sur les « process » de l'évolution (mutation, dérive, sélection...) qui mobilisent des pratiques des sciences fonctionnalistes.

Une nuance apparaît cependant dans le propos d'Ernst Mayr quand il définit la biologie évolutive dans laquelle « *presque tous les phénomènes et processus sont expliqués grâce à des inférences tirées d'études comparatives.* » L'utilisation de l'adverbe « presque » (souligné par nous) laisse entrevoir que certains phénomènes ne sont pas tirés d'inférences comparatives (marque de fabrique des sciences historiques) et donc que la biologie évolutive serait plus hétérogène dans ses pratiques que ne le laisse supposer sa présentation générale.

II. 2. 2. Un cadre épistémologique contemporain

Nous voyons donc qu'un repositionnement entre biologie, évolution, sciences historiques et fonctionnalistes a eu lieu. Les sciences de l'évolution étudient des objets de

nature différente à l'aide de méthodes scientifiques variées. Elles ne sont plus inféodées uniquement aux sciences historiques mais présentent une pluralité scientifique qui ouvre l'investigation aux objets expérimentaux. Le champ scientifique de l'évolution est donc aujourd'hui en tension entre un pôle historique et un pôle fonctionnaliste. Pour reprendre la formulation d'Armand de Ricqlès nous pouvons dire qu'aujourd'hui l'évolution mobilise le « Biologiste » et le « Naturaliste » (De Ricqlès, 1996).

Nous adoptons ce cadre épistémologique pour notre étude pour plusieurs raisons :

Un cadre contemporain et cohérent :

Ce cadre est cohérent avec les pratiques actuelles de la recherche sur l'évolution que nous avons pu objectiver dans un travail avec des chercheurs en évolution.

Une clarification des axes de recherche de l'évolution :

Comme nous l'avons souligné plus haut, ce cadre permet également une meilleure lecture des enjeux scientifiques de la recherche en évolution car il rend visible et compréhensible son double objectif, celui de la reconstitution historique et celui des mécanismes sous-jacents, ponctuels ou généraux, de l'histoire du vivant.

La reconnaissance d'une pluralité des méthodes scientifiques :

Il clarifie également les enjeux épistémologiques des sciences de l'évolution car il met en regard deux types de science, historiques et fonctionnalistes et les fait exister à égalité sans en légitimer une plus que l'autre.

Un cadre heuristique pour penser l'enseignement de l'évolution

Ce cadre épistémologique clarifiant à la fois les modes d'investigation scientifique de l'évolution ainsi que la nature des objets qu'il mobilise nous semble un cadre heuristique pertinent pour penser un enseignement contemporain de l'évolution et notamment pour élaborer des démarches d'enseignement prenant en compte la nature des objets qu'elles investissent.

II. 2. 3. Les critères de différenciation des sciences historiques et fonctionnalistes de l'évolution

Nous caractérisons les sciences historiques et les sciences fonctionnalistes en les comparant selon des paramètres propres au champ scientifique : les objets d'études, le type d'explication recherché, les raisonnements mobilisés et les modes de validation. Nous prenons appui sur les travaux des auteurs actuels et notamment ceux de Guillaume Lecointre qui a dirigé la publication d'un « *Guide critique de l'évolution* » dans lequel ces éléments sont discutés (Lecointre, 2009).

Mais comparer c'est aussi objectiver les ressemblances. En préambule, rappelons que les sciences historiques et fonctionnalistes dont nous parlons, s'inscrivent à un degré de classement plus élevé, dans un même champ scientifique, celui des « sciences de la matière » ou comme le dit Michel Delsol du « *réel sensible* » (Delsol, 1989). Leur but ultime est la connaissance du monde selon des critères de scientificité appliqués à des éléments matériels issus du monde extérieur. Pour cette raison, les sciences de la matière ont été longtemps appelées les sciences de la nature qui englobaient alors le vivant et le non vivant, non différenciés jusqu'au début du XVIII^{ème} siècle. Elles s'opposent en cela aux mathématiques qui procèdent de la logique formelle et ont peu à faire avec le réel.

II. 2. 3. 1. Définitions, objectifs

Les sciences historiques englobent un champ large de disciplines : géologie, histoire, sociologie. Elles précèdent chronologiquement la théorie darwinienne. Il est courant de faire des « sciences palétiologiques » de William Whewell (1837) la première occurrence et les racines des sciences historiques actuelles. Les sciences palétiologiques sont étymologiquement les « sciences des causes passées ».

Pour Whewell, les sciences palétiologiques sont représentées par la géologie et la minéralogie et il place également l'étude du déploiement des langues dans ce groupe. Gabriel Gohau précise que Whewell n'utilise pas le terme de « sciences historiques » car à son époque il pourrait y avoir confusion avec « *l'histoire naturelle, une science où le mot histoire n'a rien à voir avec le temps* » (Gohau, 2012, p.57). Aujourd'hui, les sciences palétiologiques sont les sciences historiques dans le sens moderne du mot « histoire » (Gayon, 2004).

Les sciences historiques sont les sciences qui étudient la répartition spatio-temporelle de différentes entités matérielles et les relations causales de leur enchaînement. Elles tentent d'expliquer l'agencement du monde vivant et sa dynamique. Dans le champ de l'évolution, les structures étudiées sont les êtres vivants (fossiles et actuels) et leur déploiement actuel et passé. Guillaume Lecointre place l'anatomie comparée, l'embryologie descriptive, la paléontologie, la phylogénie dans les sciences historiques ou sciences de structure (Lecointre, 2009). L'appellation « science historique » questionne cependant sa relation à l'histoire pratiquée par les historiens. Stéphane Tirard discute de l'appellation « sciences historiques » en mettant en regard des réflexions de Marc Bloch ou de François Furet pour qui l'histoire n'est pas circonscrite à la seule « *étude de l'humanité depuis l'invention de l'écriture* ». Son analyse sur la définition des sciences historiques le conduit à penser qu'« *...il existe bien une histoire du monde, indépendamment de celle de l'homme, qui peut appartenir aux scientifiques.* » (Tirard, 2000, p.108)

Par opposition, les sciences fonctionnalistes étudient les mécanismes permanents et ubiquistes à l'œuvre dans les entités matérielles et les lois générales qui sous-tendent ces processus. Dans les sciences de l'évolution, c'est le fonctionnement des êtres vivants qui est investi autant à l'échelle individuelle qu'à l'échelle de l'espèce. La physiologie, la génétique moléculaire, l'embryologie causale, l'écologie et la génétique des populations sont les disciplines des sciences fonctionnalistes ou sciences des processus (Lecointre, 2009).

Ces deux définitions très générales montrent d'emblée que les objectifs de connaissances sont clairement différents : les sciences historiques cherchent à expliquer les séries causales d'événements historiques, les sciences fonctionnalistes cherchent les lois générales sous-jacentes aux processus étudiés.

Jean Gayon résume ces différences dans le propos suivant dans lequel la qualification des sciences reflète plus précisément leurs objectifs de connaissances : « *Depuis le milieu du 19e siècle, il est classique d'opposer les sciences qui disent « ce qui est toujours et partout » (sciences nomothétiques, celles qui découvrent des lois de la nature), et les sciences qui disent ce qui n'a été qu'une fois (sciences idiographiques ou historiques). Les premières expliquent les phénomènes sur arrière-fond du possible ; les secondes n'ont affaire qu'à des événements, qu'elles situent dans des enchaînements uniques de causes et d'effets.* » (Gayon, 2002)

Les sciences nomothétiques, ou nomologiques sont les sciences qui cherchent les lois générales de la nature. Elles sont pour nous synonyme des sciences fonctionnalistes. Les sciences idiographiques (de « idio » et « graphique » : décrivant un cas isolé) sont les sciences historiques.

On utilise parfois le vocable « sciences expérimentales » pour parler des seules sciences fonctionnalistes. Ce terme peut cependant s'appliquer à différents niveaux de généralité et c'est pourquoi nous lui préférons celui de « sciences fonctionnalistes » dans notre exposé. Les sciences « expérimentales » peuvent en effet être comprises comme étant des sciences dont la méthodologie autorise « l'expérimentation » mais également comme des sciences utilisant les données issues de « l'expérience sensible ». Si l'on tient compte de ces deux versants dans la définition, les sciences historiques (qui utilisent les données du réel sensible) et les sciences fonctionnalistes (qui mobilisent des objets pouvant être soumis à l'expérimentation) sont toutes les deux des sciences expérimentales. C'est d'ailleurs dans ce sens que les sciences expérimentales se sont constituées historiquement (Madelrieux, 2010). Les sciences expérimentales sont le pendant des sciences empiriques qui se développent pleinement à partir du XVII^{ème} siècle sous l'influence de Francis Bacon qui défend une science basée sur l'observation (= expérience sensible) et l'expérimentation. Il s'oppose à l'époque à la vision mathématique des sciences héritée d'Aristote. Aujourd'hui, et notamment dans l'institution scolaire, le sens de cette expression se réduit souvent à la seule partie « expérimentation ». Nous discuterons de ce glissement sémantique, loin d'être anodin, au cours de l'analyse des textes officiels programmatiques.

Nous choisissons également d'utiliser les expressions sciences historiques et fonctionnalistes en référence aux travaux de Denise Orange Ravachol qui utilise cette dénomination et explore cette polarité par le prisme du couple phénomène/événement particulièrement pertinent dans le cadre de l'enseignement des sciences de la Terre. Elle montre en effet comment les sciences de la Terre sont, de la même manière que l'évolution, en tension entre un pôle historique et fonctionnaliste (Orange, 2011). Utiliser un langage commun nous semble porteur et cohérent pour les travaux de didactique des SVT en tant qu'il rend visible les caractères épistémologiques communs entre deux disciplines qui semblent parfois éloignées l'une de l'autre, et qui pourraient peut-être trouver là un espace de convergence didactique.

II. 2. 3. 2. Les objets d'études

Les patterns

Les patterns de l'évolution sont les structures matérielles du vivant, existantes et passées, (qui sont les éléments concrets et ponctuels de l'histoire de la vie sur Terre) et également leur structure historique c'est-à-dire le déploiement temporel et spatial de ces éléments depuis l'origine de la vie. Il s'agit de l'ensemble des composants du monde vivant tel qu'il existe, a existé et s'est transformé.

Les patterns sont dans ce sens les « patrons » de l'évolution à l'image d'un plan global de développement du vivant représentant la sommation chronologique de l'existence de tous ses acteurs temporaires (De Ricqlès, 2005).

Les process

Les process de l'évolution sont l'ensemble des mécanismes biologiques impliqués dans la transformation du monde vivant et ceci à tous les niveaux d'observation : moléculaire, cellulaire, organique, populationnel, écosystémique.

Proposition de listes des process et des patterns de l'évolution

Jean Gayon, dans la préface de l'ouvrage collectif « Les mondes darwiniens » précise que la distinction entre process et pattern, courante aujourd'hui, recouvre en réalité les

« deux volets de « la théorie » originelle de Darwin, à savoir l'hypothèse de la « descendance avec modification » (idée d'un nexus généalogique de tous les êtres vivants dans toute l'immensité du temps et des espaces de leurs transformations), et les hypothèses de variation et de sélection naturelle (les processus qui, de manière ultime, expliquent et contrôlent de manière prédominante le changement évolutif pour Darwin). » (Gayon, 2011, p. 32)

Pendant longtemps, l'étude des patterns a été minorée au profit de l'étude des process et spécialement de la sélection naturelle qui a focalisé l'attention des évolutionnistes. Mais ces deux dimensions de l'évolution étaient déjà présentes chez Darwin et toujours selon Jean Gayon,

« ...c'est là une dimension essentielle du darwinisme contemporain, que reflète bien la distinction aujourd'hui banale entre les « patrons » (en anglais les patterns, c'est-à-dire fondamentalement les reconstructions phylogénétiques), et les « processus » de l'évolution (par exemple la variation et la sélection). » (Gayon, 2011, p. 33)

L'ouvrage « Les mondes darwiniens » est un des premiers ouvrages de synthèse sur l'évolution qui tient compte de cette distinction en découpant sa première partie en deux sous-parties : les processus et les patrons (« patterns ») même si les premières discussions sur les process et les patterns remontent aux années 80 ce que signalent notamment les titres des ouvrages suivants : *Phylogenetic, pattern and the Evolutionary Process (method and theory in comparative biology)*, Olson, 1968 ; *the Dialectical Biologist*, Levin, Lewontin, 1985 ; *Macroévolution : Pattern et Process*, Stanley, 1980 et *Phylogenetics pattern and the évolutionnary processes*, Cracraft, Elredge, 1980.

Rappelons qu'un de nos objectifs est de repérer, dans l'enseignement de l'évolution du secondaire, la place respective des sciences historiques et des sciences fonctionnalistes. Nous avons besoin pour cela de critères discriminants pour analyser les textes des programmes scolaires. Les termes sciences historiques et fonctionnalistes ne font pas partie du vocabulaire de l'institution scolaire. La distinction process/pattern est plus opérante pour notre étude car nous pouvons reconnaître dans les programmes scolaires ce qui relève des process et ce qui relève des patterns et faire ainsi le lien avec le type de science impliqué dans les chapitres recensés. Nous nous proposons donc de dresser une liste des principaux process et patterns de l'évolution qui nous servira à discriminer ce qui relève des sciences historiques et des sciences fonctionnalistes dans notre corpus.

L'établissement de cette liste a également un intérêt critique puisqu'elle permet une sorte de mise à l'épreuve de cette distinction et oblige à interroger la position des concepts usuels de l'évolution.

Pour construire cette liste nous nous appuyons dans un premier temps sur les auteurs qui ont travaillé ces questions (Jean Gayon, Guillaume Lecointre, Armand de Ricqlès) et sur l'ouvrage de référence « *Les mondes darwiniens – L'évolution de l'évolution* » (LMD) qui nous donnent, par les exemples cités ou les chapitres proposés, un premier ensemble de concepts polarisés. Nous complétons cet ensemble en utilisant les listes de concepts que nous avons recueillis lors de nos travaux en direction des chercheurs évolutionnistes pour élargir le champ des notions. Nous sommes attentifs également à faire entrer dans cet ensemble les notions et les concepts de l'évolution présents dans les programmes scolaires.

Liste de process de l'évolution

De nombreux processus sont à l'œuvre dans l'évolution et agissent à différents niveaux d'organisation du vivant. Nous proposons volontairement une liste de processus de teneur très générale. Chaque processus de cette liste doit donc s'entendre comme un terme générique d'un ensemble qui peut englober des processus plus précis. C'est le cas, par exemple, pour « hérédité » qui peut être l'hérédité génétique et l'hérédité épigénétique. Certains termes s'entendent également à différentes échelles du vivant.

Process de l'évolution
variation
mutation
hérédité
reproduction
sélection
dérive génétique
spéciation
adaptation

Tableau 1 : Liste générale des processus de l'évolution

Un terme pose rapidement problème quand il s'agit de lui accorder le statut de processus ou de pattern de l'évolution. « L'adaptation » peut en effet être considérée selon le contexte comme un processus ou/et comme un pattern de l'évolution. Si dans l'ouvrage LMD, elle est clairement positionnée dans le chapitre des processus, la définition qui est discutée dans l'article correspondant précise que « *L'adaptation peut être définie comme un caractère nouveau apparu chez un organisme et maintenu par la sélection naturelle* ». C'est ici l'aspect « pattern » qui est mis en avant mais selon le même auteur « *...le terme est souvent utilisé pour désigner également le processus par lequel ce caractère dit adaptatif a été acquis par l'organisme.* » (Grandcolas, 2011, p.150)

Nous retrouvons ce double aspect de l'adaptation biologique dans l'ouvrage de Christian Saches, qui faisant référence à plusieurs auteurs définit « *l'adaptation comme la modification évolutive qui permet l'amélioration de la fitness sous pression de la sélection naturelle.* » (Saches, 2011, p.37) Cette définition exprime le double aspect de ce concept, à la fois le mécanisme et le résultat de ce mécanisme. En réalité cette ambiguïté est déjà présente dans la définition générale que fournit le Cntrl¹¹ du mot « adaptation » et qui est formulée comme suit : « *adaptation : action de s'adapter et le résultat de cette action* ».

¹¹ Centre national de ressources textuelles et lexicales. Consultable en ligne à l'adresse suivante : www.cnrtl.fr/

Dans l'expectative, nous conservons « adaptation » pour l'instant dans la liste des process en tant qu'elle est « aussi » un process de l'évolution et qu'elle est classée comme telle dans l'ouvrage LMD.

Liste de patterns de l'évolution

Les patterns de l'évolution forment un groupe moins homogène que celui des processus de l'évolution. Il contient des éléments qui peuvent se ranger dans deux groupes distincts : celui qui répertorie les structures du vivant actuels et passés et celui qui englobe ces structures dans leur déploiement historique. Selon les auteurs, l'accent est mis parfois sur l'un ou l'autre de ces groupes. Par exemple, pour Jean Gayon, les patterns sont «... *fondamentalement les reconstructions phylogénétiques.* » (Gayon, 2011) mais dans le même ouvrage, les caractères ou les espèces sont aussi considérés comme des patterns.

La différence entre ces deux types de patterns est cependant essentielle pour notre recherche :

Les patterns qui regroupent les éléments structuraux des organismes vivants (caractères, phénotype, ...) ou d'un ensemble d'organismes vivants sont des objets matériels potentiellement observables, du moins en partie, et qui peuvent éventuellement s'étudier hors d'un contexte historique. Ce sont des patterns dans le sens qu'ils sont des structures matérielles résultant de l'histoire du vivant mais ils peuvent être appréhendés et étudiés pour eux-mêmes selon une approche fonctionnaliste ou historique. Nous les nommons patterns « matériels » pour les différencier des suivants.

Les patterns correspondant au déploiement historique du monde vivant ne sont pas et ne seront jamais accessibles ni observables dans leur globalité. Ils ne sont pas des objets matériels mais le résultat de reconstructions théoriques qui s'appuient en partie sur les données issues des patterns « matériels » mais qui n'en sont pas une simple expansion à des échelles de temps et d'espace plus grandes. Ces patterns ne peuvent être étudiés que dans le cadre des sciences historiques. Nous les nommons ici les patterns « historiques » pour les différencier des précédents bien que nous soyons consciente du pléonasme contenu dans cette appellation.

Si nous insistons sur cet aspect « matériel ou non » et « observable ou non » des patterns c'est parce l'observation est une activité clé et plébiscitée dans les démarches

d'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. Des travaux de didactiques ont mis en évidence l'importance accordée aux données empiriques dans cet enseignement et il est pour cela pertinent de pouvoir distinguer cette caractéristique dans notre étude. (Darley, 2007 ; Orange, 2012). Notre analyse des textes officiels des programmes de SVT présentée en partie 3 conforte cette focalisation de l'institution scolaire sur les activités d'observation dans l'enseignement des SVT.

Nous proposons ici une liste de patterns en distinguant les deux niveaux discutés. Là aussi, nous avons le souci de faire une liste avec des termes généraux qui peuvent englober des éléments plus précis et également des items qui correspondent à des thèmes des programmes de SVT.

Patterns de l'évolution	
Patterns « matériels »	être vivant caractère diversité (biodiversité) phénotype génotype fossile
Patterns « historiques »	espèce population phylogénie phylogenèse parenté filiation crise biologique origine de la vie

Tableau 2 : Liste générale des patterns de l'évolution

II. 2. 3. 3. Les modes de raisonnements

C'est sans doute l'aspect le plus complexe de la distinction entre science historique et science fonctionnaliste car il interroge les relations, dans l'objectif de la construction des savoirs, entre trois processus cognitifs fondamentaux : la déduction, l'induction et l'abduction. Ces trois processus sont des types de raisonnement à la base de toutes les démarches scientifiques et qui concernent toutes les sciences. Une littérature abondante existe sur ce thème et elle traite à la fois des problèmes de définition de ces processus, de leurs champs d'application, de leurs inter-relations et de leurs validités scientifiques. Depuis Aristote, on s'interroge sur les processus mentaux aptes à conduire l'esprit humain vers de nouveaux savoirs scientifiques. De nombreux philosophes et scientifiques se sont

emparés de ces questions fondamentales. L'objectif ambitieux de certains d'entre eux, (Bacon, Descartes, Comte, les empiristes logiques du cercle de Vienne) était de trouver une méthode universelle de la connaissance scientifique, qui permettrait aussi (et enfin) de délimiter parfaitement science et non science (Nouvel, 2011). Ces tentatives se sont avérées vaines à plus ou moins longue échéance car trop excluantes mais ont nourri et enrichi ces débats qui se poursuivent encore. Comme le dit Alain Voizard :

« Cela est sans doute imputable au fait qu'il n'y a pas de méthode scientifique, du moins considérée abstraitement comme un ensemble de règles fixes et universelles régissant l'ensemble de l'activité scientifique. » (Voizard, 2006, p.741)

Cependant, si l'horizon d'une science méthodologiquement homogène, quelque soit la nature de l'objet de recherche, n'est plus d'actualité, la réflexion se poursuit et porte davantage sur les critères de scientificité (Lecointre, 2009) voire les conditions de scientificité de l'attitude d'un chercheur (Bechet, 2014) qui ont vocation à circonscrire le socle commun de l'activité scientifique. C'est dans ce climat de questionnements que se situe notre objectif de caractériser les raisonnements scientifiques à l'œuvre dans les sciences historiques et les sciences fonctionnalistes dans le champ de l'évolution. La première difficulté est que les types de raisonnements que sont l'induction, la déduction et l'abduction ne sont pas si simplement spécifiques d'un type de sciences.

Rappelons d'abord que nous nous situons dans le champ des sciences de la matière ou du réel sensible dont l'entrée dans le champ scientifique date du XVI^{ème} siècle. Dans ce champ scientifique c'est par inférence (= opération qui consiste à tirer une conséquence ou admettre une proposition en raison de son lien avec des propositions préalables tenues pour vraies) à partir de l'expérience sensible que les raisonnements s'initient et conduisent à la connaissance. Elles s'opposent en cela aux sciences logico-formelles (ou mathématiques) dans lesquelles les nouvelles lois et/ou les nouvelles connaissances sont le résultat de raisonnements déductifs ou d'inférences déductives à partir d'axiomes pré-existants posés comme vrais.

Nous définissons les différents types de raisonnement en nous basant d'abord sur les définitions et les articles correspondants du dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences dirigé par Dominique Lecourt mais aussi sur d'autres auteurs qui ont travaillé ces questions.

Déduction

C'est un type de raisonnement qui conduit de prémisses ou d'axiomes établis à une conclusion nécessaire et inévitable. La déduction conduit du général au particulier. Elle assure la validité d'un raisonnement en dehors même de la véracité des propositions. Cependant si les prémisses sont vraies alors la conclusion est obligatoirement vraie. L'archétype du modèle déductif est le syllogisme aristotélicien : « Tous les A sont B ; Tous les C sont A ; Donc tous les C sont B ». (Vernant, 2006, p. 339) C'est le raisonnement par excellence de la démonstration mathématique.

Cependant, ce type de raisonnement est également utilisé dans les sciences empiriques. Les prémisses ne sont plus alors des axiomes ou des postulats mais des données hypothétiques issues d'une théorie donnée pour vraie. En effet, d'une théorie donnée pour vraie nous pouvons extrapoler des conséquences vérifiables (des données hypothétiques). La vérification de ces hypothèses, quel qu'en soit le résultat, s'inscrit dans un raisonnement déductif. Cependant la force de la déduction dans le cas de prémisses ayant valeur d'hypothèses est plus faible que dans le cas de la déduction mathématique (Delsol, 1985 ; Barberousse, 2005).

Dans le cadre de la démarche expérimentale, la phase de validation des hypothèses se prête à ce modèle. Un protocole expérimental conduit à des résultats qui sont en accord ou non avec les conséquences d'une hypothèse posée au départ. L'hypothèse et les résultats de l'expérimentation peuvent être assimilés aux prémisses d'un syllogisme et ainsi faire l'objet d'une déduction. Dans ce cas la validation expérimentale est une démonstration déductive.

Cependant, la déduction n'a pas la même « puissance » selon que l'on raisonne dans le cadre des mathématiques ou des sciences empiriques et notamment en biologie. Les données hypothétiques faisant œuvre de prémisses sont elles-mêmes issues d'une théorie dont la solidité ne peut être totale. Si le raisonnement déductif peut être présent dans les sciences empiriques, les données hypothétiques n'auront jamais l'aspect absolu des axiomes mathématiques (Barberousse, 2005).

L'induction

C'est un mode de raisonnement inférentiel consistant à remonter, par une suite d'opérations cognitives, de données particulières (faits, expériences, énoncés) à des

propositions plus générales, de cas particuliers à la loi qui les régit, des effets à la cause, des conséquences au principe, de l'expérience à la théorie (Tiercelin, 2006).

Cependant si définir l'induction est aisée, historiquement elle s'est trouvée au cœur de controverses célèbres sur la nature des sciences qui ont occupé les milieux philosophiques et scientifiques depuis le XVI^{ème} siècle jusqu'au XX^{ème} siècle. (Hume et son « problème de l'induction » ; Popper élaborera son principe de réfutation à partir du problème de l'induction, (Nouvel, 2011)). La question centrale que soulève l'induction est la justification, du point de vue de la logique formelle, des généralisations auxquelles conduit ce raisonnement. Les logiciens ont longtemps cherché à formaliser l'induction sans y parvenir et en buttant sur cette généralisation qui ne peut être justifiée.

Ils s'opposeront à un autre courant de pensée, initié par William Whewell, pour qui l'induction diffère de la logique inductive, héritée de la pensée aristotélicienne. Et c'est là une vision originale pour son époque. Whewell propose en réalité une nouvelle définition de l'induction que Robert Blanché appelle « l'implication » : il faut partir de l'observation et de l'analyse de la science expérimentale constituée et de la compréhension de ses procédés pour comprendre ce qu'est « pratiquement » l'induction et quelle est sa place dans le raisonnement scientifique.

« Le passage des faits aux lois apparaît alors avant tout comme le passage de données brutes, inintelligibles par elles-mêmes comme « des conséquences sans prémisses », à des principes tels qu'ils permettent de les construire déductivement, avec tous leurs caractères particuliers. » (Blanché, 1975, p.74)

L'induction dans ce cas n'est plus la généralisation dans son ensemble mais le moment où « l'idée juste » émerge : c'est « l'invention de l'idée ». Whewell identifie ainsi l'induction à l'hypothèse et plus précisément à « l'idée géniale » qui rend cohérente des données ou des faits disparates. Mais dans ce cas, la philosophie n'a plus son mot à dire et c'est au savant de vérifier la véracité de son hypothèse. Une « opération géniale » de l'esprit ne se régleme pas et ne s'analyse pas. Tout au plus les philosophes peuvent réfléchir après-coup aux procédés mis en œuvre dans une science déjà faite et il s'agit alors de construire « une philosophie de la découverte ». Dans ce sens l'induction débouche sur la liberté de l'hypothèse et sur l'invention géniale.

Aujourd'hui, la logique inductive n'a plus court et c'est Michel Boudot , cité par Michel Delsol, qui résume le mieux la conclusion des auteurs modernes.

« Sans témérité, on peut inférer des analyses précédentes que l'absence d'une logique inductive n'est pas un échec momentané qui résulterait de l'insuffisance de la recherche, mais le signe de son impossibilité radicale. C'est ainsi qu'est condamné le projet positiviste d'absorber toute théorie de la science dans une épistémologie formelle et de consacrer la logique à titre de science de la science. » (Boudot, 1972 cité dans Delsol, 1985, p.22)

L'induction est aujourd'hui associée à un troisième type d'inférence qui est l'abduction.

L'abduction

C'est un mode de raisonnement inférentiel permettant « d'expliquer un phénomène ou une observation à partir de certains faits, événements ou lois » (Koriche et Sallantin, 2006, p.1). L'utilisation la plus commune et connue de l'abduction est le raisonnement par diagnostic. C'est Charles Sanders Pierce dans l'ouvrage « *Le raisonnement et la logique des choses* » publié en 1934 qui a placé l'abduction comme centrale dans les raisonnements scientifiques. L'abduction est également appelée « l'inférence à la meilleure explication » (Fitzhugh, 2005 ; Barberousse, 2005). Pour Pierce elle ne conduit pas au vrai mais au plus plausible. Par rapport à l'induction qui reste le procédé conduisant à la loi générale ou à la règle, l'abduction conduit « seulement » à l'explication d'un cas particulier à partir de ce que l'on sait déjà et c'est elle qui intervient dans la formulation d'hypothèses.

Comment ces trois modes d'inférences interagissent dans l'activité scientifique et spécialement au sein d'une science historique ou d'une science fonctionnaliste ?

Selon Kirk Fitzhugh les raisonnements scientifiques inférentiels ont souvent été pensés d'une manière dichotomique opposant la déduction et l'induction. Mais cette dichotomie est peu opérante pour caractériser l'activité scientifique qui est plutôt envisagée aujourd'hui comme la succession d'une phase de découverte suivie d'une phase de justification. Les hypothèses sont développées dans le contexte de découverte et les tests sont élaborés et conduits dans la phase de justification.

Dans les sciences fonctionnalistes, la phase de découverte c'est-à-dire la formulation d'une ou plusieurs hypothèses mobilisent des inférences abductives et inductives. Dans la phase de validation, le test expérimental peut avoir lieu et donner lieu à une phase déductive qui n'a cependant pas la force de la déduction mathématique puisque les hypothèses n'ont pas le côté absolu d'un axiome mathématique.

Dans les sciences historiques, la phase de découverte s'appuie également sur des

procédés abductifs et inductifs mais la phase de validation n'a pas accès au test expérimental du fait de la nature de ces objets historiquement situés et donc non isolables en « laboratoire ». Les hypothèses formulées vont prendre valeur d'explications validées par l'accumulation de faits et de données convergents qui vont les corroborer. Cependant les conclusions resteront par nature vraisemblables et n'auront pas la solidité d'une déduction. La phase de validation des sciences historiques fait appel à la « preuve par accumulation » ou à la convergence des données et comme le dit Armand de Ricqlès, il s'agit d'une monstration plutôt que d'une démonstration qui s'appuie sur une inférence inductive (De Ricqlès, 2005).

Nous retenons de cette analyse qu'une des différences entre science historique et fonctionnaliste est qu'en terme de raisonnements scientifiques, l'inférence déductive a davantage sa place dans une science fonctionnaliste que dans une science historique. Mais c'est surtout sur le mode de validation de la preuve que science historique et science fonctionnaliste peuvent se différencier : validation expérimentale mobilisant un processus déductif (même faible) pour les sciences fonctionnalistes et cohérence maximalisée des données pour les sciences historiques.

Les arguments déductifs, inductifs et abductifs

Pour les besoins méthodologiques de notre analyse, nous souhaitons distinguer les raisonnements scientifiques et les arguments scientifiques. En effet, les textes officiels que nous analyseront s'attardent peu sur la description des raisonnements scientifiques proprement dit et une lecture rapide montre que les termes d'induction, déduction et surtout d'abduction sont quasi absents de ces textes. Par contre nous trouvons dans les documents considérés des énoncés parfois argumentatifs dont nous pourrions caractériser les types de raisonnements qu'ils mobilisent même s'ils ne sont pas nommés expressément.

Selon Anouk Barberousse, dont nous reprenons l'analyse,

« un argument est un ensemble de n énoncés dont les $n-1$ premiers sont appelés prémisses et le n -ième la conclusion. » C'est une « construction logique » qui conduit des prémisses à la conclusion. » (Barberousse, 2005, p.77)

Les types d'arguments, inductifs, abductifs et déductifs n'atteignent pas tous à la même nécessité logique comme nous l'avons vu précédemment. Seule la déduction peut prétendre à cette nécessité car si on accepte les prémisses d'un argument déductif, on accepte

obligatoirement sa conclusion. La déduction est un argument dont la validité dépend seulement de la forme de l'argument et non pas de son contenu.

Exemples de formulation

argument déductif

« Si l'on fait l'hypothèse x, et que l'on sait par ailleurs que si x est vraie, alors l'énoncé y l'est aussi, et si l'on observe que l'énoncé y est faux, on peut en déduire que l'hypothèse x est fausse. » (barberousse, 2005, p.78)

ou « si p a lieu, alors q a lieu ; p a lieu donc, déductivement q a lieu. » (Fitzhugh, 2005, p.87)

Les arguments inductifs et abductifs n'atteignent jamais cette nécessité logique. Ce sont des arguments « synthétiques » c'est-à-dire dont la validité dépend de la mise en relation des prémisses avec la conclusion. La conclusion ne peut être que vraisemblable car elle contient un élément nouveau qui n'est pas contenu dans les prémisses.

Argument inductif (par énumération, cas le plus simple) :

« x est g, y est G, z est G etc...

conclusion : quelque soit a, a est G » (Barberousse, 2005, p. 78))

Les arguments abductifs permettent de remonter aux conditions causales qui rendent compte d'effets observés.

« Si p, alors q ; q a lieu donc, abductivement p. » (Fitzhugh, 2005, p. 87)

Charles Sanders Pierce appelle l'abduction, « rétroduction » ou « hypothèse » et parfois aussi « déduction inverse ». Elle permet de suggérer la ou les causes possibles d'un effet observé. Et on ne peut pas déduire les causes à partir des effets. Par contre on peut déduire les effets à partir des causes.

Une différence importante entre argument déductif et inductif est qu'un argument déductif ne débouche jamais sur un élément qui n'était pas contenu dans les prémisses. C'est ce que résume Fitzhugh dans la distinction suivante :

« Dédution

a) si les prémisses sont vraies, la conclusion doit être vraie.

b) toute information présente dans la conclusion est déjà présente dans les prémisses.

Induction

a) Si les prémisses sont vraies, la conclusion est probablement, mais pas nécessairement, vraie.

b) la conclusion contient de l'information non présente dans les prémisses. » (Fitzhugh, 2005, p. 84)

Dans cet article, après un examen approfondi des relations entre abduction, déduction et induction Kitk Fitzhugh conclut que l'inférence phylogénétique est abductive et pas hypothético-déductive ou statistique comme le pensent certains systématiciens.

II. 2. 3. 4. La contingence

Réhabilitée dans le champ des sciences de l'évolution par Stephen Jay Gould elle est une caractéristique incontournable et hautement spécifique des sciences historiques et de l'évolution. L'évolution aurait pu se dérouler « autrement » et cette ouverture sur des possibles autres est liée à la survenue d'événements contingents, non forcément biologiques, dont les conséquences sont peu prévisibles :

« ... on est obligé de regarder l'imposant spectacle de l'évolution de la vie comme un ensemble d'événements extraordinairement improbables, parfaitement logiques en rétrospectives et susceptibles d'être rigoureusement expliqués, mais impossibles à prédire et tout à fait non reproductibles. » (Gould, 1998, p. 10).

Les sciences historiques, comme le dit Patrice Bailhache

« doivent d'une part jouir d'un caractère authentiquement scientifique, c'est-à-dire, si l'on retient ce qui a été dit, qu'elles doivent être à la fois objectives dans leur champ d'investigation et rigoureuses dans leurs arguments. D'autre part, elle doivent être historiques, ce qui veut dire qu'elles portent sur des données par nature contingente et en grand nombre. » (Bailhache, 2005, p. 31)

Conclusion

Les dernières décennies ont été une période particulièrement intéressante pour les sciences de l'évolution autant sur le plan scientifique que sur le plan épistémologique. Les contours de l'explication évolutive ont été questionnés et redessinés. Pour Massimo Pigliucci le changement majeur se situe au niveau du découplage partiel qui s'est opéré entre la micro-évolution et la macro-évolution c'est-à-dire la perte du déterminisme total des processus moléculaires sur les structures macroscopiques de l'évolution, autrement dit,

les patterns évolutifs. C'est la réflexion sur la contingence, et sa prise en compte dans les explications évolutives, qui a conduit à une vision actuelle de l'évolution davantage en tension entre l'aléatoire et le déterminisme que ne l'était la TSE (Pigliucci, 2013). En conséquence le pouvoir explicatif de la sélection naturelle s'est restreint même si le processus de sélection naturelle reste la seule explication de l'évolution adaptative.

Dans l'objectif de comprendre quelle épistémologie est mobilisée par les enseignants dans l'enseignement de l'évolution nous interrogeons l'existence de ce cadre actualisé des sciences de l'évolution dans le monde scolaire. Nous pensons que l'épistémologie que les enseignants mobilisent provient pour une partie de leur formation initiale et continue au contact du monde universitaire et, pour une autre partie, de l'institution scolaire par le biais des directives officielles qu'ils sont dans l'obligation contractuelle de mettre en œuvre. Si nous voulons nous donner les moyens de comprendre les références épistémologiques des enseignants nous devons connaître celles qui existent dans ces deux milieux de référence. Nous pourrions ainsi en évaluer les impacts respectifs quand nous analyserons les résultats de l'étude menée directement dans le milieu des enseignants de SVT.

Nous présentons dans la partie suivante l'étude menée auprès d'un panel de chercheurs en évolution qui nous a permis de mettre à jour, sous la forme d'un « paysage conceptuel », certaines de leurs représentations sur l'évolution.

Partie 2 : Le « paysage conceptuel » de l'évolution dans le monde de la recherche.

Introduction

Nous souhaitons dresser un état des lieux de la « pensée évolutionniste » dans le milieu des chercheurs travaillant dans le domaine des sciences de l'évolution. Nous cherchons à connaître quels sont, selon eux, les concepts majeurs de l'évolution et leur importance relative. Cette étude répond à plusieurs objectifs. Les programmes scolaires sont élaborés au sein de la commission nationale des programmes (CNP) dont certains membres sont des universitaires et des chercheurs. Dans le monde scolaire ils sont les détenteurs de ce que l'on nomme le « savoir savant » ou le savoir de référence (Chevallard, 1985). Dans l'objectif de connaître le niveau de prise en compte des pôles historiques et fonctionnalistes des sciences de l'évolution dans l'enseignement des SVT, il est important de savoir si dans le milieu de référence cette approche de l'évolution est prégnante ou non et plus globalement si le cadre épistémologique que nous avons présenté correspond totalement ou en partie avec celui mobilisé par les chercheurs en sciences de l'évolution. Les résultats de cette enquête seront également un point de référence pour l'étude des représentations des enseignants sur l'évolution.

Pour compléter cet état des lieux de la recherche en évolution, nous nous sommes intéressés également à l'aspect institutionnel. Une étude à partir de l'annuaire du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) permet de savoir quels sont les laboratoires qui travaillent sur l'évolution et quels sont leurs objets d'études.

L'intérêt de cette analyse est de deux ordres : d'une part apporter des éléments supplémentaires de connaissance de l'état des lieux de la recherche sur l'évolution en France et, d'autre part, nous donner des éléments de référence pour tester la représentativité du panel des chercheurs qui ont répondu à notre enquête.

Nous avons décidé, après avoir testé d'autres outils, notamment ceux des cartes conceptuelles, d'utiliser un outil d'enquête issu de la sociologie et de la psychologie sociale que nous avons adapté pour notre étude : le réseau d'association. (Abric, 2003 ; De Rosa, 2003).

I. État des lieux des sciences de l'évolution dans le milieu scientifique français.

Introduction

Le domaine scientifique de l'évolution recouvre des champs disciplinaires variés (biologie, écologie, géologie) dont les objets d'études vont de la molécule à l'écosystème. Plusieurs organismes de recherche participent à cette thématique. Le plus conséquent est le CNRS, plus grand organisme de recherche scientifique français. Les autres organismes impliqués à différents niveaux dans la recherche sur l'évolution sont le Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN), l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), et l'Institut Pasteur. Cependant, en nombre de chercheurs impliqués, le CNRS reste la structure de référence avec 69368 chercheurs (chercheurs permanents et non permanents ; données de 2011¹²) travaillant dans 969 unités de recherche (UR) qui sont soit des UPR : unité propre de recherche ou des UMR : unité mixte de recherche. Élaborer un état des lieux de la recherche en évolution à partir de l'annuaire du CNRS¹³ (en ligne) est donc pertinent pour notre étude étant donné que les autres structures se trouvent également répertoriées par le biais des UMR qui associent des laboratoires du CNRS avec des laboratoires de l'INRA, de l'Inserm, du MNHN et de l'institut Pasteur. Les paramètres accessibles et pertinents pour notre étude, sont la répartition des unités de recherche (UR) dans les différents instituts (biologie, écologie et géologie) ainsi que les niveaux d'organisation du vivant explorés.

Nous présentons également des données bibliométriques sur les publications concernant les sciences de l'évolution pour rendre compte des objets d'étude privilégiés.

I. 1. Le rattachement institutionnel des sciences de l'évolution au sein du CNRS

La recherche en sciences de l'Évolution au CNRS se fait au sein de trois instituts :

- L'INEE : Institut d'Écologie et d'Environnement
- L'INSB : Institut des Sciences Biologiques

12 Rapport d'activité du CNRS, année 2011, consultable en ligne à l'adresse suivante : <http://www.cnrs.fr/fr/pdf/rapport-scientifique/2011/#/1/>

13 Annuaire du CNRS consultable en ligne à l'adresse suivante : <http://www.cnrs.fr/fr/une/annuaires.htm>

- L'INSU : Institut des Sciences de l'Univers.

Au sein de ces instituts nous avons répertorié les UR dont un des axes est en lien avec l'évolution. Chaque institut est lui-même subdivisé en différentes sections de recherche. Pour L'INSB et L'INEE nous avons comptabilisé les UR dans les 3 sections suivantes :

- Organisation, expression et évolution des génomes, bio-informatique
- Biologie cellulaire, évolution, évolution-développement
- Biodiversité, évolution et adaptations biologiques : des macro-molécules aux communautés.

Pour l'INSU, nous recherchons également dans la section : Terre et planètes telluriques : structure, histoire, modèles

Chaque UR fait l'objet d'une page de présentation dans laquelle les thèmes et les activités de recherche sont détaillés. Certaines UR sont en réalité répertoriées dans plusieurs instituts du fait d'activités pluridisciplinaires. En croisant l'ensemble des données nous obtenons la répartition présentée dans le tableau n°3.

Dans ce tableau la première colonne présente le nombre total d'UR (UPR et UMR) dans chaque institut. Certaines de ces UR ont un rattachement secondaire que nous indiquons.

Dans la deuxième colonne nous comptabilisons les UR estampillées « évolution » c'est-à-dire les UR présentant une ou des activités de recherche sur l'évolution et nous les présentons en fonction de leur rattachement institutionnel.

La troisième colonne indique le nombre de directeur de recherche (DR) des UR « évolution ».

La quatrième colonne dit quel pourcentage des UR d'un institut est consacré à des thèmes de recherche sur l'évolution.

La dernière colonne donne la répartition en pourcentage de l'ensemble des UR « évolution » en fonction des instituts de rattachement.

Institut(s) de rattachement	Nombre total UPR et UMR	Nombre d'UR « évolution »	Nombre de DR des UR « évolution »	% UR « évolution » par institut	Répartition par institut des UR « évolution » en %
INSU (total)	98				
INSU (seul)					
INSU/INEE		4			
INSU/ISBN					
Total		4	66	4	7,2
INSB (total)	215				
INSB (seul)		13			
INSB /INEE		10			
ISBN /INSU					
Total		23	216	10,6	41,8
INEE (total)	74				
INEE (seul)		2			
INEE/ ISBN		24			
INEE/INSU		2			
Total		28	307	37,8	50,9
Total	387	55	589		100

Tableau n°3 : répartition des UR « évolution » au sein des instituts du CNRS.

Commentaires

La recherche en évolution est majoritairement présente au sein de l'Institut d'Écologie et d'Environnement (INEE) puis au sein de l'Institut des Sciences Biologiques. Par contre, la proportion d'UR travaillant sur l'évolution rattachée à l'Institut des Sciences de l'Univers est faible. Les 4 UR répertoriées sont des UR dont le domaine de recherche est la paléontologie qui apparaît être un champ d'activité restreint du moins en moyen humain. Le rattachement « type » des UR « évolution » est INEE/INSB. (24 « UR » évolution sur 55)

I. 2. Les niveaux d'organisation du vivant investis dans les UR « évolution »

L'annuaire du CNRS permet d'avoir accès aux niveaux d'organisation du vivant auxquels travaillent les chercheurs en évolution dans l'ensemble des 55 UR « évolution » répertoriées.

A partir des documents de présentation des laboratoires, disponibles en ligne, nous prenons en compte 4 niveaux d'organisation du vivant : Moléculaire (molécule, gène, génome), Organisme, Population, Écosystème. Dans la majorité des UR « évolution » plusieurs niveaux d'organisation sont étudiés. Le tableau n° 4 donne la répartition des niveaux d'organisation investis dans les UR « évolution ».

Résultat pour les 55 UR « évolution » répertoriées au sein du CNRS

Niveaux d'organisation du vivant	Moléculaire (génétique)	Organisme	Population	Écosystème
Nombre de laboratoires par niveau(x) d'organisation du vivant		8		
		3		
		3		
		15		
	5			
	21			
Répartition des niveau(x) d'organisation du vivant dans les UR « évolution »	49	50	32	29

Tableau n° 4 : Répartition des niveaux d'organisation du vivant étudiés dans les UR « évolution » répertoriées au sein du CNRS

Commentaire

Les niveaux majoritairement investis dans les sciences de l'évolution sont le niveau moléculaire et celui des organismes.

I. 3. Données bibliométriques

Quels sont les thèmes privilégiés dans les publications scientifiques des sciences de l'évolution ? Nous utilisons la base de données PubMed¹⁴ pour répertorier ces publications. Nous recherchons le nombre d'articles publiés de l'année 2000 à l'année 2014 pour avoir accès aux publications récentes et à leur représentativité relative.

Nous choisissons de rechercher les articles à partir des « MeSH Terms » qui sont les descripteurs du MeSH (Medical Subjects Headings) et qui font office de mots-clés pour

¹⁴ Banque de données sur les publications scientifiques. Consultable en ligne à l'adresse suivante : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

notre recherche. Le degré de généralité élevé des concepts que nous cherchons dans les publications permet d'avoir des descripteurs pour chacun. Les descripteurs que nous utilisons sont ceux qui correspondent aux concepts principaux de l'évolution.

MeSH Terms utilisés (descripteurs)	Résultats (mis à jour le 6 août 2015)
biological evolution	160485
+ natural selection	8366
+ genetic drift	1314
+ mutation	18109
+ biological adaptation	6292
+ phylogeny	111641
+ molecular phylogeny	82142
+ epigenomics	76

Tableau n° 5 : Nombre de publications scientifiques en fonction des mots-clés spécifiés.

Commentaires

Nous remarquons le nombre très important d'articles répondant au descripteur « phylogénie » et à celui de « phylogénie moléculaire ». Il est cependant difficile de discerner s'il s'agit d'articles présentant des travaux de construction de phylogénies ou d'articles dans lesquels des résultats phylogénétiques sont utilisés à d'autres fins. Quoi qu'il en soit la phylogénie est un domaine de recherche très actif et donc inscrit pleinement dans l'actualité des sciences de l'évolution. Rappelons qu'elle s'inscrit également dans le champ des sciences historiques. Nous remarquons également que la somme des publications investissant le niveau moléculaire (mutation et phylogénie moléculaire) est majoritaire au regard du nombre total de publications sur l'évolution.

II. Les réseaux d'association de chercheurs en évolution

II. 1. Questions et choix méthodologiques

II. 1. 1. Genèse de l'outil

Nous voulons avoir accès aux représentations des chercheurs en évolution et évaluer la place relative accordée aux sciences historiques et aux sciences fonctionnalistes. Dans le champ scientifique de l'évolution la distinction entre science historique et science fonctionnaliste peut être appréhendée par le couple process/pattern (de Ricqlès, 2005). Les mécanismes ou « *process* » de l'évolution sont les objets des sciences fonctionnalistes

(nomologique ou expérimentale). Au contraire, les « *patterns* » de l'évolution sont les objets des sciences historiques (ou palétiologiques, idiographiques). Ce couple est opérant pour discriminer les données qui nous seront fournies par les scientifiques.

Nous avons dans un premier temps pensé utiliser la carte conceptuelle pour recueillir les représentations des chercheurs. Les différentes définitions que nous en avons trouvées convenaient à nos objectifs : « *Les cartes conceptuelles sont des outils pour l'organisation et la représentation des connaissances.* » (Novak, 1998) ; « *Une carte conceptuelle est une représentation graphique d'un domaine de la connaissance tel que perçu par un ou plusieurs individus. Cette perception - évolutive - établit des liens entre des concepts selon des règles plus ou moins formelles.* » (Laflamme, 2006, p.8) Pour ce chercheur, la carte est une « représentation » alors que pour Joseph Novak elle est d'abord un « outil ». Ces nuances dans les définitions dépendent en réalité de l'usage de la carte. D'après Daniel Jacobi, la fonction des cartes conceptuelles est multiple : objet sémio-linguistique, objet de structuration, outil de méta-cognition, outil de formation et outil d'analyse. C'est cette polyvalence qui en fait un outil souple et puissant de recherche (Jacobi, 1994).

Cependant, pour qu'une carte conceptuelle puisse être validée comme étant la représentation d'une communauté, il est d'abord nécessaire qu'un nombre suffisant de chercheurs participe à son élaboration. Ce travail, entrepris entre novembre 2009 et février 2011, a mobilisé 8 chercheurs. Trois cartes ont été produites au cours de 3 entretiens menés à chaque fois avec deux chercheurs. Il est vite apparu d'une part que ce tempo ne permettrait pas d'aboutir à un corpus suffisant dans le temps disponible et d'autre part que le travail d'analyse des cartes produites s'avérait délicat. Bien que la construction des cartes suive un protocole précis et identique au cours des 3 séances, les résultats sont rendus difficilement comparables par un manque d'explicitation à différents niveaux : définitions des concepts en jeu, signification des liens. D'autre part les discussions enregistrées à chaque séance, s'orientent trop différemment pour en saisir la cohérence globale ou non. De nouveaux entretiens seraient alors nécessaires pour expliciter davantage les propos et les cartes ce qui marque la limite de cette méthode trop ambitieuse.

Devant ces difficultés une adaptation de l'outil d'enquête devient nécessaire. Il doit à la fois permettre de mobiliser un nombre plus important de chercheurs et recueillir des données mieux « calibrées » pour l'analyse. C'est un outil d'enquête issu de la sociologie

qui s'avère le plus pertinent pour notre étude.

II. 1. 2. Le réseau d'association

Nous élaborons un outil adapté de la méthode du « réseau d'association », outil issu de la sociologie et de la psychologie sociale. (Abric, 1994, 2003 ; De Rosa, 1995, 2003). Le réseau d'association est « *une technique d'étude propre à relever la structure, les contenus et la polarité du champ sémantique associé à une certaine représentation.* » (De Rosa, 2003, p.81) Cet outil est utilisé classiquement pour avoir accès aux représentations sociales d'une population plus ou moins large et homogène. Le concept de « représentation sociale » a été explicité pour la première fois en 1961 par Serge Moscovici, spécialiste de psychologie sociale. Un champ de recherche s'est alors ouvert et de nombreux travaux l'ont nourri. (Jodelet, 1989 ; Molinier, Vidal, 2003) La représentation sociale, dans une acception large, est l'ensemble des opinions, des croyances et des attitudes partagées et construites au sein d'un groupe et qui concerne un objet du milieu donné. Dans notre étude, le public concerné est un public expert et nous le questionnons sur la place et le contenu de concepts scientifiques majeurs de leur domaine de compétences. De fait nous ne sommes plus alors dans la recherche d'une représentation « sociale » mais nous serions plus près de représentations professionnelles qui sont, selon Serge Moscovici, un sous-groupe des représentations sociales portant sur des objets propres à un domaine de compétence spécifique. Cependant ces « représentations » s'appuient fortement sur des connaissances scientifiques car les mots-stimulus que nous emploierons sont des concepts scientifiques majeurs et les réponses des chercheurs sur leurs significations ne peuvent pas être considérées comme des opinions personnelles ou des croyances. La collecte des définitions des termes employés et leur analyse est pour cela un outil de vérification important. Là où le terme de « représentation » peut-être plus approprié dans l'ensemble des données recueillies c'est sans doute dans la hiérarchisation des concepts proposés et donc la pondération accordée à chacun dans le champ de l'évolution (Moscovici, 1961).

Dans le champ de la didactique des sciences, le terme de « représentation » renvoie à la notion « d'obstacle » au sens bachelardien du terme (Urgelli, 2012). Dans ce sens les représentations sont un frein à l'apprentissage et elles doivent être dépassées pour que l'apprenant avance dans la connaissance (Astolfi, Develay, 2005).

II. 1. 3. Protocole d'origine du réseau d'association

Première étape : Un mot-stimulus est écrit au centre d'une feuille blanche. Très librement et sans contrainte spatiale. Il s'agit alors d'écrire tous les mots ou expressions qu'évoque le mot-stimulus. Il faut également numéroter les items dans leur ordre d'apparition.

Seconde étape : Il s'agit de re-numéroter les items, après réflexion, par rapport à l'importance qu'on leur accorde par rapport au mot-stimulus.

Troisième étape : un coefficient de satisfaction (+, 0 ou -) est accroché à chaque item.

Une étape supplémentaire a été mise au point par Abric (1994). Cette variante du réseau d'association consiste à ajouter une étape après le classement d'importance des concepts : pour les 5 premiers items de la liste d'importance il est demandé d'établir à nouveau une liste d'évocation ce qui permet de construire un réseau entre les items.

II. 1. 4. Protocole adapté à notre étude

L'objectif de notre étude est de recueillir des données analysables permettant de comprendre et de structurer le « paysage conceptuel » des chercheurs en évolution. Pour cela nous avons besoin de faire émerger les concepts ou éléments de l'évolution qui sont les plus importants au sein de la communauté mais nous ne demandons pas aux participants de les inscrire sous la forme d'une constellation graphique puisque nous aurons un traitement statistique des données.

Nous souhaitons d'autre part recueillir le contenu sémantique des items principaux qui émergeront du corpus. Nous demandons aux chercheurs de donner une définition des cinq premiers items qu'ils auront placés en tête de leur liste.

Nous voulons que les personnes sondées dans notre enquête travaillent à partir de concepts scientifiques de l'évolution que nous leur fournissons et nous les présentons comme tels. Nous ne leur demandons pas cependant de répondre expressément en utilisant des concepts scientifiques mais des mots ou expressions (= items) de leur choix.

II. 2. Protocole proposé aux chercheurs

II. 2. 1. Description et consignes

1 Cette étape est un exercice d'association d'idées. Pour chaque concept, inscrire dans le tableau ci-dessous les mots ou les expressions qu'il évoque sans aucune « censure », le plus rapidement possible, et dans un ordre spontané. Vous devez inscrire au moins 10 mots mais davantage si vous le désirez.

2 Numérotez ensuite ces mots en fonction de l'importance que vous leur accordez, dans votre représentation scientifique du concept cité. Vous pouvez limiter cette numérotation aux 10 mots les plus importants. Si vous souhaitez insérer un rang a posteriori, vous pouvez utiliser des décimales (exemple : 1,5 entre 1 et 2). Si d'autres mots vous viennent à l'esprit, vous pouvez revenir à la phase 1.

3 Reprenez les 5 mots les plus importants et précisez leurs sens dans le tableau de la page suivante.

II. 2. 2. Nature des résultats obtenus

Jean-Claude Abric explique que la liste d'évocation fait émerger les concepts généraux d'une communauté qui sont les marqueurs de l'ambiance conceptuelle du milieu. Cette liste d'évocation est, d'après les travaux de la psychologie cognitive, un indicateur de « l'accessibilité prototypique » : le terme associé au mot-stimulus n'est pas d'emblée toujours le mot le plus pertinent « rationnellement » mais parfois le terme le plus consensuel au sein de la communauté (« consensualité prototypique »). Nous pouvons peut-être parler « d'ambiance conceptuelle commune » pour qualifier ce qui est donné par ces listes d'évocation ou d'élicitation (Abric, 2003).

Établir une liste d'importance relève d'une démarche différente parce qu'évaluative et nécessite une réflexivité sur ces propres références dans son domaine de compétence. Cette étape nécessite une approche rationnelle qui s'oppose à l'approche spontanée de la liste d'évocation. Pour notre recherche, cette liste est la plus pertinente car elle oblige à un positionnement plus personnel du chercheur. Nous la nommons « liste d'importance ».

D'autre part, pour travailler sur les concepts majeurs et pouvoir comparer les différentes réponses, il est essentiel pour nous d'avoir accès aux définitions scientifiques des termes

utilisés par les personnes sondées. En effet le champ sémantique de l'évolution scientifique est peuplé de termes « très » polysémiques avec pour beaucoup une utilisation fréquente dans le langage courant : sélection, évolution, parenté, adaptation, mutation. Mais même au sein de la communauté des évolutionnistes il est important de repérer le degré de consensus des contenus sémantiques. Nous demandons donc aux participants d'écrire une définition précise des 5 premiers items de l'ordre d'importance qu'ils proposent. Nous verrons également que ce contenu sémantique permet d'apprécier le degré de conceptualisation des items présents.

Nous pensons d'ailleurs que la grande polysémie est d'une des difficultés de la compréhension de l'évolution par les élèves ou le grand public. L'apparente familiarité sémantique des concepts de l'évolution est sans doute à incriminer dans une impression de compréhension rapide qui shunte chez les apprenants la nécessité d'un processus cognitif plus approfondi.

II. 2. 3. Le choix des mots-stimulus

Le premier mot-stimulus sera le mot « évolution », terme central qui nous donnera accès au champ le plus large possible des représentations des chercheurs. Les analyses porteront en priorité sur les résultats de ce mot-stimulus.

Les deux autres mots-stimulus testés sont des concepts centraux de l'évolution et nous pensons qu'ils seront présents dans la listes des items récoltés pour le mot-stimulus « évolution ». Ils sont également choisis en fonction de la polarité process/pattern et de leur présence dans les programmes scolaires.

La « sélection naturelle » est un process de l'évolution en même temps qu'elle en est un des concepts majeurs. Elle est enseignée au collège et au lycée.

La « parenté » dans le sens de « parenté entre les êtres vivants » est le troisième mot-stimulus. Ce concept est au cœur des travaux phylogénétiques qui, nous l'avons vu occupent une place centrale dans la recherche en évolution aujourd'hui. Elle est également enseignée au collège et au lycée dans le cadre de la phylogénie. La « parenté » est choisie également en tant qu'elle est un pattern de l'évolution et un objet des sciences historiques.

L'outil et le protocole utilisés doivent nous permettre de construire à terme le paysage

conceptuel des chercheurs spécialistes de l'évolution que nous souhaitons finaliser sous la forme d'un « réseau conceptuel ».

II. 3. Corpus

II. 3. 1. Données quantitatives

49 chercheurs ont répondu au protocole : 18 femmes, 30 hommes, 1 anonyme

Les données ont été recueillies en plusieurs fois. Des questionnaires ont été distribués le 10 novembre 2011 au cours de la journée EvoLyon'2011¹⁵.

Une seconde campagne de collecte a été réalisée par l'intermédiaire du réseau EvolFrance. Un questionnaire en ligne a été envoyé dans ce réseau et nous avons reçu 40 réponses utilisables pour l'analyse. 3 autres questionnaires ont été obtenus au cours de rendez-vous pris directement et 6 ont été obtenus lors de la journée évoLyon'2011.

Le recueil des questionnaires s'est étalé sur plusieurs mois avec la nécessité de relance pour mobiliser les chercheurs. Nous aboutissons à un total de 49 réponses analysables. Nous présentons le statut des personnes ayant répondu à notre enquête.

Statut	Nombre
Enseignant-chercheur	26
Maître de conférence	
Ingénieur de recherche	
Chargé de recherche	
Directeur de recherche	
Post-doctorant	7
Doctorant	16

Tableau n°6 : statut des chercheurs sondés

II. 3. 2. Représentativité du panel de chercheurs

Premier paramètre : le rattachement institutionnel pour notre corpus

Dans l'intention d'obtenir le plus grand nombre de réponses possibles, nous n'avons pas ciblé dans un premier temps les destinataires des questionnaires selon des critères de spécialité. Nous avons obtenues 49 réponses. Nous voulons estimer la représentativité de

¹⁵ Conférence EvoLyon'2011. ENS-Lyon, jeudi 10 Novembre 2011.

ce panel pour savoir si des biais d'échantillonnage sont présents ou non. Nous nous appuyons sur les données administratives qu'ils nous ont fournies et nous les comparons avec les données institutionnelles que nous avons présentées plus haut. Nous estimons la représentativité de notre panel à partir de 2 paramètres.

Les spécialistes ayant répondu à notre enquête travaillent pour une grande partie d'entre eux dans les UR « évolution » que nous avons répertoriées (4 chercheurs travaillent dans des laboratoires de l'INRA non rattachés au CNRS). Nous pouvons comparer la répartition des instituts de rattachement des UR « évolution » de notre panel à celle que nous avons établie à partir de l'annuaire du CNRS. Nous avons pu identifier le rattachement institutionnel de 38 des UR « évolution » de notre panel, certains chercheurs n'ayant pas indiqué leur rattachement institutionnel. 4 chercheurs travaillent dans des laboratoires de l'INRA qui ne sont pas rattachés à des UMR du CNRS. Nous présentons les résultats de cette comparaison dans le tableau n° 7.

Institut(s) de rattachement des UR « évolution » de notre panel	INEE	INEE INSB	INEE INSU	INSB	INSB INEE	INSU INEE	INRA (hors CNRS)
	1	16	3	7	5	2	4
TOTAL par institut	20			12		2	4
en %	INEE 58,8			INSB 35,2		INSU 5,8	
répartition de référence en %	50,9			41,8		7,2	

Tableau n°7 : comparaison des rattachements institutionnels de 38 UR « évolution » de notre panel avec la répartition de référence

Deuxième paramètre : les niveaux d'organisation du vivant investis dans les UR « évolution » de notre panel

Nous pouvons également comparer la répartition des niveaux d'organisation du vivant investis dans les « UR »évolution » de notre panel avec celle de que nous avons établie à partir des informations présentes dans l'annuaire du CNRS. Nous présentons les résultats dans le tableau n°8.

Niveaux d'organisation du vivant	Moléculaire (génétique)	Organisme	Population	Ecosystème
Nombre de laboratoire de notre panel et niveau(x) d'organisation du vivant investi		7		
		1		
	5			
	12			
	8			
	16			
Nombre de laboratoire par niveau d'organisation de notre panel	41	41	29	23
référence	49	50	32	29

Tableau n°8 : répartition des niveaux d'organisation du vivant étudiés dans les UR « évolution » de notre corpus comparés à la répartition de référence

Commentaires

Selon les 2 paramètres présentés, le panel de spécialistes de l'évolution qui ont répondu à notre questionnaire ne présente pas de biais important d'échantillonnage. Nous ne prétendons pas cependant atteindre à la représentativité du monde de la recherche en sciences de l'évolution en France mais nous estimons que nos résultats ont une certaine solidité et permettent un certain nombre d'analyse.

II. 4. Traitements des données

II. 4. 1. Mise en forme des résultats bruts

Comme nous l'avons précisé plus haut, c'est sur les listes d'importance que porte essentiellement notre analyse car elles sont le résultat de la réflexion de chaque chercheur sur les termes associés aux mots-stimulus qui sont les plus importants pour lui. Le paysage conceptuel que nous cherchons émergera de ces listes et de leur compilation.

Dans un premier temps il est nécessaire de lisser la typographie et l'orthographe pour harmoniser les listes d'items obtenues (harmonisation des majuscules, de certains singuliers/pluriels, harmonisation des accents).

La lecture rapide des listes d'importance montrent qu'un certain nombre d'item sont des synonymes. Il est pertinent de les nommer sous un même item de référence pour éviter une

dilution factice et regrouper ces items similaires sous une même appellation. Cette étape est cependant délicate dans le sens où elle est un compromis entre une polarisation accrue sur certains items et une perte éventuelle d'information. Mais au moment d'analyses plus fines il sera toujours possible de revenir aux items initiaux.

Exemple de regroupements : dérive et dérive génétique ; mutation et mutation génétique ; changement, modification et transformation.

Nous vérifions la synonymie des items concernés à l'aide des définitions fournies par les chercheurs. Nous créons ainsi des items de référence qui regroupent les items similaires entre eux. Le nom retenu pour l'item de référence dans le cas des synonymies est l'item qui est le plus cité dans un groupe de synonymes. Par exemple, chez les chercheurs c'est l'item « sélection » qui est majoritairement employé alors que chez les enseignants c'est celui de « sélection naturelle ».

La lecture des définitions révèle quelques surprises : certains items n'ont pas la même définition parmi les chercheurs. Par exemple, les définitions concernant la « variation » et la « diversité » sont parfois identiques mais parfois bien séparées : la variation est dans ce cas synonyme de polymorphisme génétique, résultat des mutations induites ou spontanées du génome. La diversité est le résultat de ce polymorphisme originale soumis à la sélection et à la dérive génétique. La variation est dans ce cas la condition de possibilité de l'évolution alors que la diversité en est le résultat. C'est dans ce sens, majoritaire (mais pas unanime) parmi les chercheurs, que nous retiendrons ces deux items.

Nous présentons dans les 3 tableaux suivants les regroupements effectués à partir des listes d'importance pour chaque mot-stimulus.

Mot stimulus « évolution »	
Item de référence	Item(s) rattaché(s)
changement	transformation ; modification
diversité	biodiversité ; divergence ; diversification/diversité
Darwin	darwinisme
dérive génétique	dérive ; dérive neutre ; neutralisme ; stochasticité démographique
environnement	milieu ; contexte environnemental ; niche écologique
fitness	valeur adaptative (fitness) ; succès reproducteur
hérédité	héritabilité
histoire	histoire de la vie
phylogénie	phylogénèse
mutation	mutation aléatoire ; innovation évolutive ; duplication gènes ; recombinaison
niveaux de sélection	niveaux de sélection/définition de l'environnement
sélection	sélection naturelle et sexuelle ; sélection sexuelle ; tri sélectif
spéciation	spéciation/espèce ; espèce et spéciation
variation	polymorphisme ; hétérogénéité ; variabilité ; variabilité (intra-spécifique)

Tableau n°9 : regroupements pour le mot-stimulus « évolution »

Mot stimulus « sélection »	
Item de référence	Item(s) rattaché(s)
avantage sélectif	avantage reproductif ; avantage
compétition	compétition entre individus
contrainte	contrainte évolutive ; contraintes morphologiques
dérive génétique	dérive ; neutralité ; neutralisme
descendance	descendants
fitness	valeur adaptative (fitness) ; succès reproducteur ; aptitude phénotypique ; coefficient de sélection ; différentiel de valeur sélective ; valeur sélective ; fitness/adaptation ;
héritabilité	hérédité
mutation	mutation délétère ; mutation avantageuse
pression	pression positive ; pression négative ; pression du milieu
reproduction	reproduction/hérédité ; reproduction sexuée ; reproduction différentielle
survie	survival of the fittest ; survivre ; survie différentielle
tri	tri sélectif ; filtre
variation	variabilité phénotypique ; variabilité intraspécifique ; variabilité ; polymorphisme ; diversité génétique

Tableau n°10 : regroupements pour le mot-stimulus « sélection naturelle »

Mot stimulus « parenté »	
Item de référence	Item(s) rattaché(s)
ancêtre commun	ancêtre ; ancêtre commun exclusif ; dernier ancêtre commun
arbre phylogénétique	tree of live ; arbre
caractère homologue	caractère dérivé ; caractère
coefficient de parenté	coefficient d'apparement
divergence	divergence/spéciation
diversité	biodiversité
espèce	espèce dérivé ; notion d'espèce
gène	génome
groupe monophylétique	groupe frère ; clade ; groupe ; monophylétique
homologie	homologie/homoplasie ; synapomorphie
lien phylogénétique	lien ; branches
modification	modification/ascendance
mutation	mutation aléatoire
origine commune	origine unique ; luca
partage	partage de gènes
phylogénie	classification ; classification phylogénétique ; systématique ; phylogénie génétique
reproduction	reproduction sexuée ; reproduction sexuée clonale
similarité	similarité génétique ; ressemblance
société	sociétés animales ; socialité
transmission	transmission/hérédité

Tableau n°11 : regroupements pour le mot-stimulus « parenté »

Élaboration des listes d'importance globales

Le traitement statistique que nous allons appliquer à notre corpus nécessite de regrouper l'ensemble des items des listes d'importance de chaque chercheur au sein d'une seule liste d'importance « globale » qui tient compte des regroupements présentés ci-dessus. Cette liste compile les 5 premiers items proposés par chacun des 49 chercheurs. Travailler sur les 5 premiers concepts importants de chacun des chercheurs est un bon compromis pour notre recherche d'un noyau dur pertinent des concepts majeurs de l'évolution dans une communauté de chercheurs.

Nous tenons compte dans nos analyses de deux paramètres pour chaque item : sa fréquence c'est-à-dire son nombre d'occurrence dans l'ensemble des items recueillis et le

rang moyen qu'il occupe dans « le top 5 » des chercheurs. Ces deux paramètres apportent des informations différentes et complémentaires. Un item peut être cité fréquemment mais placé à un rang bas ou cité peu souvent mais placé à un rang élevé. Le rang moyen permet ainsi de contrebalancer le poids peut-être excessif de la fréquence d'un item. Nous construisons pour chaque mot-stimulus un tableau présentant pour les items de la liste d'importance globale les occurrences et les rangs occupés.

Une colonne « total brut » donne le nombre d'occurrence total parmi les 49 chercheurs. Pour donner davantage de poids aux rangs occupés par l'item, les occurrences sont coefficientées par leur rang (5 pour le rang 1, 4 pour le rang 2, 3 pour le rang 3, etc ...) et le résultat est placé dans une colonne « total coefficienté »

ex : 3 items de la liste d'importance pour le concept « sélection naturelle » (avant regroupement)

Item « sélection »	place 1	place 2	place 3	place 4	place 5	total brut	total coefficienté
variation	1	1	2	1	0	5	17
variabilité phénotypique	0	0	0	1	0	1	2
variabilité intraspécifique	1	0	0	0	0	1	5

Tableau n°10 : exemple de résultats de 3 items obtenus avec le mot-stimulus « évolution »

L'item « variation » a été cité 1 fois en rang 1, 1 fois en rang 2, etc...

Il a été cité par 5 chercheurs sur 49.

Le total coefficienté : $1 \times 5 + 1 \times 4 + 2 \times 3 + 1 \times 2 + 0 = 17$

II. 4. 2. Premier traitement des données : obtention du noyau central et du 1^{er} noyau périphérique

Pour faire émerger les concepts majeurs de l'évolution et leur poids relatif nous reprenons, dans un premier traitement des données, la méthodologie d'Abric qui conduit à faire émerger 4 groupes de l'ensemble des items fournis par les chercheurs. Le traitement des données consiste à croiser la fréquence moyenne d'un item et son rang moyen. Nous devons aussi calculer la fréquence moyenne globale des items c'est-à-dire la fréquence moyenne de l'ensemble des items présents dans la liste d'importance. Du fait du nombre élevé d'hapax (item à une seule occurrence) cette fréquence moyenne globale est faible. Le

rang moyen est logiquement 3 puisqu'il est le rang médian du classement de 1 à 5. Le croisement du rang moyen global (3) et de la fréquence moyenne globale des items permet de délimiter 4 groupes d'items présentés dans le tableau n°11.

Les 4 groupes d'ABRIC	Fréquence de l'item supérieure à la fréquence moyenne	Fréquence de l'item inférieure à la fréquence moyenne
Rang moyen fort ≤ 3	Noyau central (1)	Éléments contrastés (3)
Rang moyen faible > 3	1^{er} noyau périphérique (2)	2 nd noyau périphérique (4)

Tableau n° 11 : les 4 groupes selon la méthodologie d'Abriç.

Dans le cadre des « représentations sociales » le noyau central représente le noyau dur, consensuel et très solide du domaine exploré pour les personnes sondées. Il est normalement constitué d'un petit nombre d'éléments qui ont une forte capacité structurante. Ce noyau est résistant au changement et il assure la continuité et la pérennité de la représentation. Il est pour cette raison indiscutable et donc très difficile à modifier. Le noyau périphérique est plus fluctuant. Les écarts sont plus autorisés et les changements sont davantage tolérés.

Le groupe « éléments contrastés » compile des items qui sont peu fréquents (parfois une seule occurrence) mais ont une importance élevée pour leurs auteurs qui les placent parfois en tête de leur liste d'importance. Le second noyau périphérique regroupe les items peu fréquents et placés en dernier dans les listes d'importance.

II. 4. 3. Deuxième traitement des données : le rang maximal atteint

Afin de tenir davantage compte du rang d'importance des items nous analysons les données du corpus en les regroupant par rang d'importance maximal obtenu : La liste d'importance globale est ainsi partagée en cinq sous-groupes. Le premier groupe contient tous les items qui ont au moins une fois été placés en rang 1, le deuxième groupe, tous les items placés au mieux en rang 2, etc...

Dans chaque sous-groupe, les items seront placés par nombre d'occurrence décroissante dans le rang considéré. Ensuite les occurrences dans les autres rangs sont cumulées et représentées sur un graphique par des couleurs différentes.

Cette répartition tient compte davantage des rangs occupés que des occurrences. Un item peut être en effet cité fréquemment mais peu placé dans les premiers rangs. Le traitement par rang maximal atteint permet de mettre en lumière la place de l'item plutôt que sa fréquence. Elle met également en lumière certains items des « éléments contrastés » (hapax placé en rang 1 par exemple)

II. 4. 4. Troisième traitement des données : la valeur d'importance

Nous calculons pour chaque item la valeur d'importance qui est le produit de son rang moyen par sa fréquence moyenne. Ce paramètre est une donnée qui pondère également la fréquence. Il a l'avantage de « résumer » la position d'un item autour d'une seule valeur ce qui permettra des comparaisons plus aisées notamment entre les résultats des chercheurs et ceux des enseignants.

II. 4. 5. Traitement des définitions

Les définitions sont d'abord des outils de vérification du sens des items et nous permettent d'établir leurs degrés de consensus parmi les chercheurs. La forme de ces définitions nous apportent d'autres renseignements. Elle permettent d'estimer si l'item défini est pensé comme un concept scientifique au sens de Rumelhard. Nous n'avons pas, dans notre protocole, spécifié le type de définition que nous attendions et nous avons obtenu des définitions plus ou moins développées. En les analysant nous avons tenu compte d'une des dimensions importantes d'un concept scientifique c'est-à-dire son existence au sein d'un réseau d'autres concepts. Nous pouvons repérer la présence de cet aspect relationnel dans les définitions fournies et discuter ainsi de l'aspect conceptuel ou non d'un item donné pour la personne qui le définit. Nous utilisons cet indicateur dans nos analyses.

III. Résultats et analyses

III. 1. Résultats

III. 1. 1. Données quantitatives globales pour les 3 mots stimulus

Pour chaque mot-stimulus (« évolution », « parenté » et « sélection naturelle ») chaque chercheur a fourni une liste d'évocation et une liste d'importance. La liste d'évocation contient les items dans l'ordre où ils se sont présentés spontanément à l'esprit de la

personne sondée. La liste d'importance est la liste des items de la liste d'évocation placés, après réflexion, du plus important au moins important par rapport au mot-stimulus.

Nous présentons des données quantitatives globales pour le mot-stimulus « évolution ». Nous comptabilisons le nombre total d'items recueillis, le nombre de formes différentes (= nombre d'items différents) et le nombre d'hapax (= item cité une seul fois). Pour la liste d'importance nous présentons les résultats après regroupement des items similaires.

Nous calculons l'indice de richesse du corpus : Nombre d'hapax/ nombre de formes x 100. Cet indice est le reflet de la richesse lexicale d'un corpus.

Mot-stimulus « évolution » 49 réseaux	Nombre total des items	Nombre d'items différents (= formes)	Nombre d'items uniques (= hapax)	Richesse du corpus hapax/formes x100	Occurrence moyenne d'un item
Liste d'évocation	678	269	176	65,4	2,5
Liste d'importance globale	245	60	36	60	4,08

Tableau n°12 : données quantitatives globales pour le mot-stimulus « évolution »

Les listes d'évocation ont des longueurs variables : 5 mots pour la plus courte et 30 pour la plus longue. (Moyenne : 13,8 items/chercheur) Pour les listes d'importance : les listes contiennent de 5 à 20 mots (Moyenne : 10 items /chercheur).

Données quantitatives globales pour le mot-stimulus « parenté »

Mot-stimulus « parenté » 47 réseaux	Total des items	Nombre d'items différents (= formes)	Nombre d'items uniques (= hapax)	Richesse du corpus hapax/formes x100	Occurrence moyenne d'un item
Liste d'évocation	496	236	157	66,5	2,1
Liste d'importance globale	225	119	81	68,1	1,9

Tableau n°13 : données quantitatives globales pour le mot-stimulus « parenté »

Pour le concept « parenté » nous avons obtenu 47 réponses complètes. 2 personnes n'ont pas complété le document pour ce concept. 3 personnes ont répondu de manière

incomplète.

Données quantitatives globales pour le mot-stimulus « sélection naturelle »

Mot-stimulus « sélection » 49 réseaux	Total des items	Nombre d'items différents (= formes)	Nombre d'items uniques (= hapax)	Richesse du corpus hapax/formes x100	Occurrence moyenne d'un item
Liste d'évocation	569	253	177	69,9	2,2
Liste d'importance globale	236	99	67	67,6	2,4

Tableau n°14 : données quantitatives globales pour le mot-stimulus « sélection »

Pour le concept « sélection naturelle », 5 réponses sont incomplètes.

Commentaires

Les listes d'évocation et d'importance présentent toutes un fort pourcentage d'hapax. Ce résultat est une constante des corpus similaires en sociologie. Le taux d'hapax est très souvent au-delà de 50%. Dans notre corpus, le taux d'hapax indique une richesse lexicale vis à vis des mots-stimulus qui sont des concepts majeurs du domaine étudié. Ayant interrogé des spécialistes scientifiques de l'évolution, il n'est pas étonnant que le lexique obtenu soit à la fois vaste et précis. On observe en effet un nombre conséquent de termes techniques très spécifiques de faible occurrence. Cependant, cette large distribution lexicale apporte *a contrario* une validité importante aux items dont les occurrences sont élevées. Pour mettre en relief ces items nous prendrons en compte dans nos résultats uniquement les items dont la fréquence sera supérieure à la fréquence moyenne de l'ensemble des items.

Nous présentons dans la partie suivante les résultats pour chaque méthode d'analyse.

III. 1. 2. Les noyaux centraux et périphériques

Nous présentons, sur les pages suivantes les résultats sous forme de tableaux et de graphiques pour chacun des 3 mots-stimulus.

MOT STIMULUS « EVOLUTION »

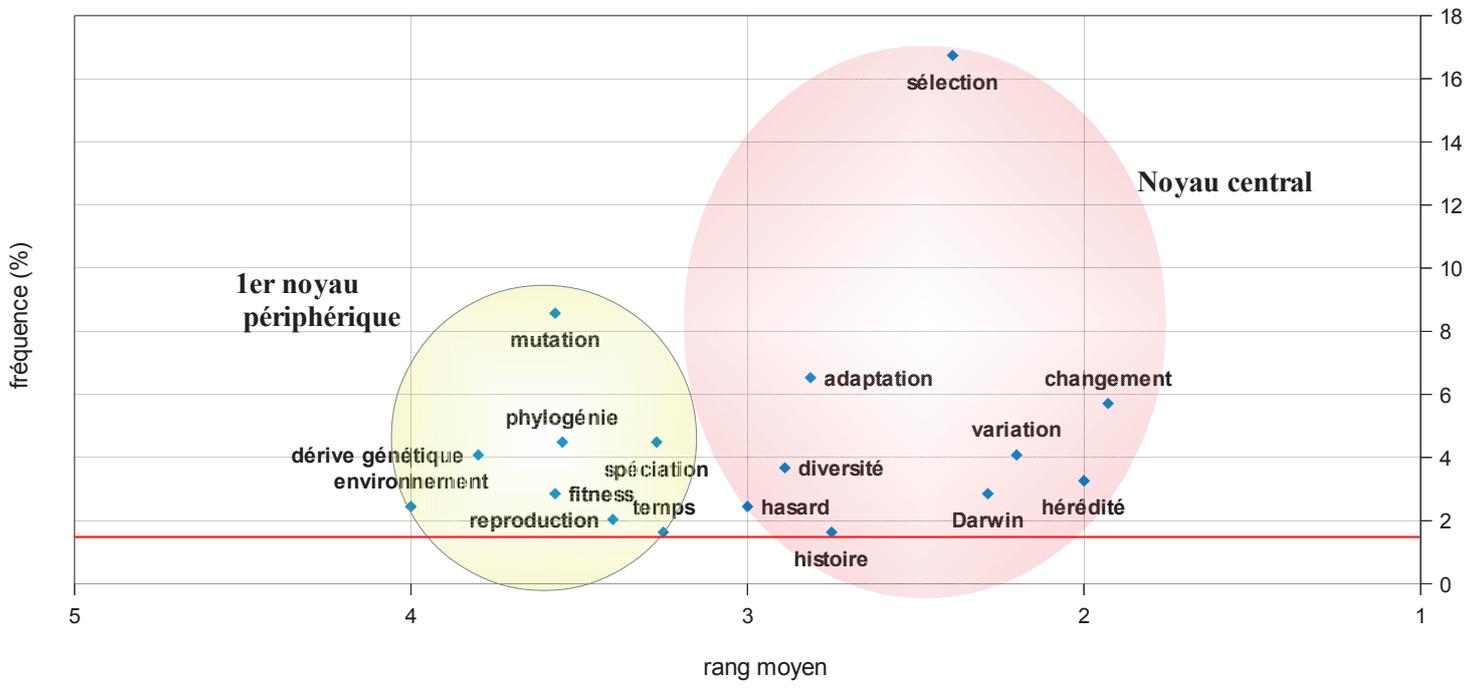
Nombre d'item total : 245. La fréquence moyenne des items : 1,69.

Dans chaque groupe les items sont rangés par fréquence décroissante.

Mot-stimulus « évolution »	Rang <= 3	Rang > 3
Fq >= Fq moyenne (1,69)	Noyau central sélection adaptation changement variation diversité hérédité Darwin hasard histoire	1er noyau périphérique mutation spéciation phylogénie dérive génétique fitness environnement reproduction temps
Fq < Fq moyenne (1,69)	Éléments contrastés génétique extinction interaction adn biologie paléoécologie vie aptitude phénotypique dynamique des populations efficacité finalité paléontologie réplication statistique survie différentielle beau génomique comparée horloge moléculaire lamarckisme nouveauté paysage de fitness phénotype/génotype	2nd noyau périphérique espèce fossile contrainte gène niveaux de sélection conservation convergence échantillonnage généalogie jeu organisation théorie des jeux allèles arbre de la vie créationnisme développement écologie modification morphologique phénotype processus de remaniements reine rouge robustesse

Tableau n°15 : les 4 groupes « Abric » pour le mot-stimulus « évolution » chez les chercheurs

Noyau central et 1er Noyau périphérique
mot-stimulus "évolution" chercheurs



Graphique n°1 : Les items du noyau central et du premier noyau périphérique de la liste d'importance « **évolution** » en fonction de leurs fréquences et de leurs rangs moyens.

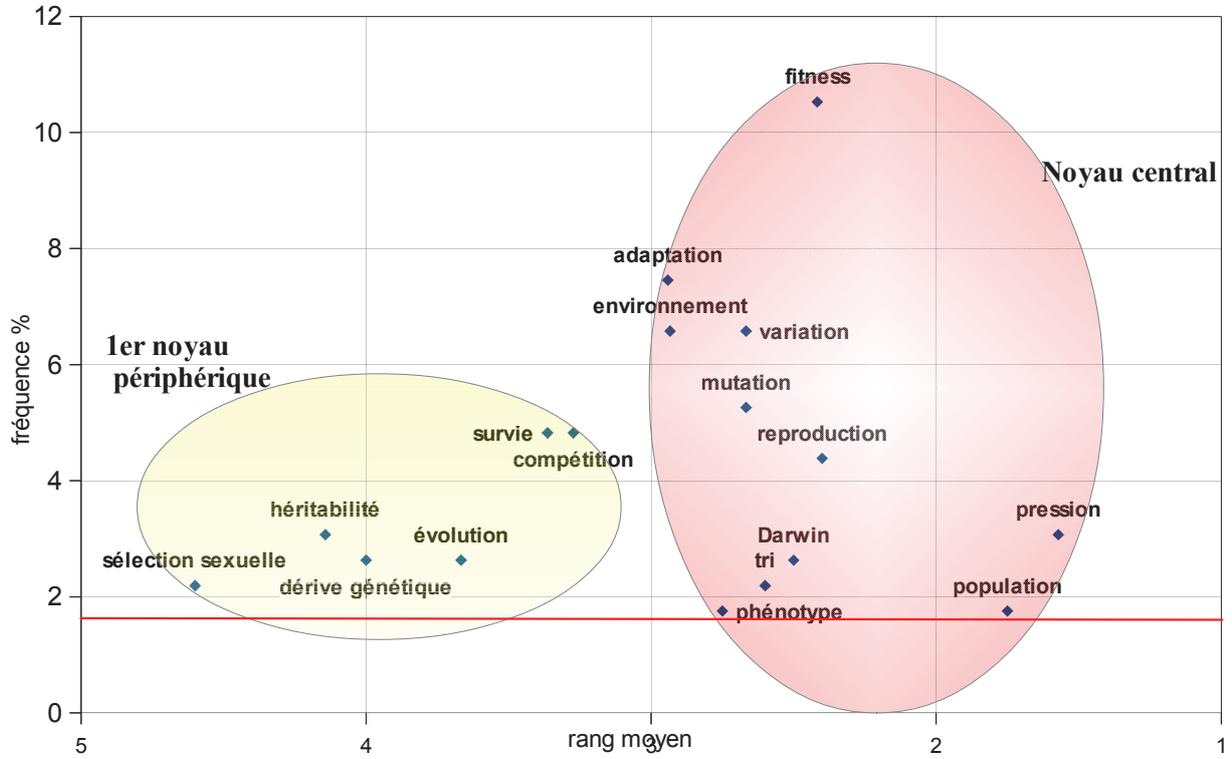
MOT STIMULUS « SELECTION »

Nombre d'items total : 228 ; La fréquence moyenne est : 1,59

« sélection »	Rang <= 3	Rang > 3
<p>Fq >= Fq moyenne (1,59)</p>	<p>Noyau central fitness adaptation variation environnement mutation reproduction pression Darwin tri population phénotype</p>	<p>1er noyau périphérique compétition survie héritabilité évolution dérive génétique sélection sexuelle</p>
	<p>Éléments contrastés avantage sélectif écologie fécondité descendant changement sélection positive/négative théorie spontané interaction biologie aléatoire perte de diversité mortalité longévité efficacité choix du partenaire base allèle sélection purificatrice natalité mortalité différentielle génomique génétique des populations fréquence allélique extinction des espèces dynamique</p>	<p>2nd noyau périphérique sélection artificielle hasard contrainte dérive génétique sélection utilitaire niveau de sélection individu génération processus énergie croissance co-évolution changements environnementaux sélection prédation marginalité génotype fréquence évolution culturelle</p>

Tableau n°16 : les 4 groupes « Abric » pour le mot-stimulus « sélection » chez les chercheurs

Noyau central et 1er noyau périphérique
mot-stimulus "sélection" chercheurs



Graphique n° 2 représentant les items du noyau central et du premier noyau périphérique de la liste d'importance « *sélection naturelle* » en fonction de la fréquence et du rang moyen.

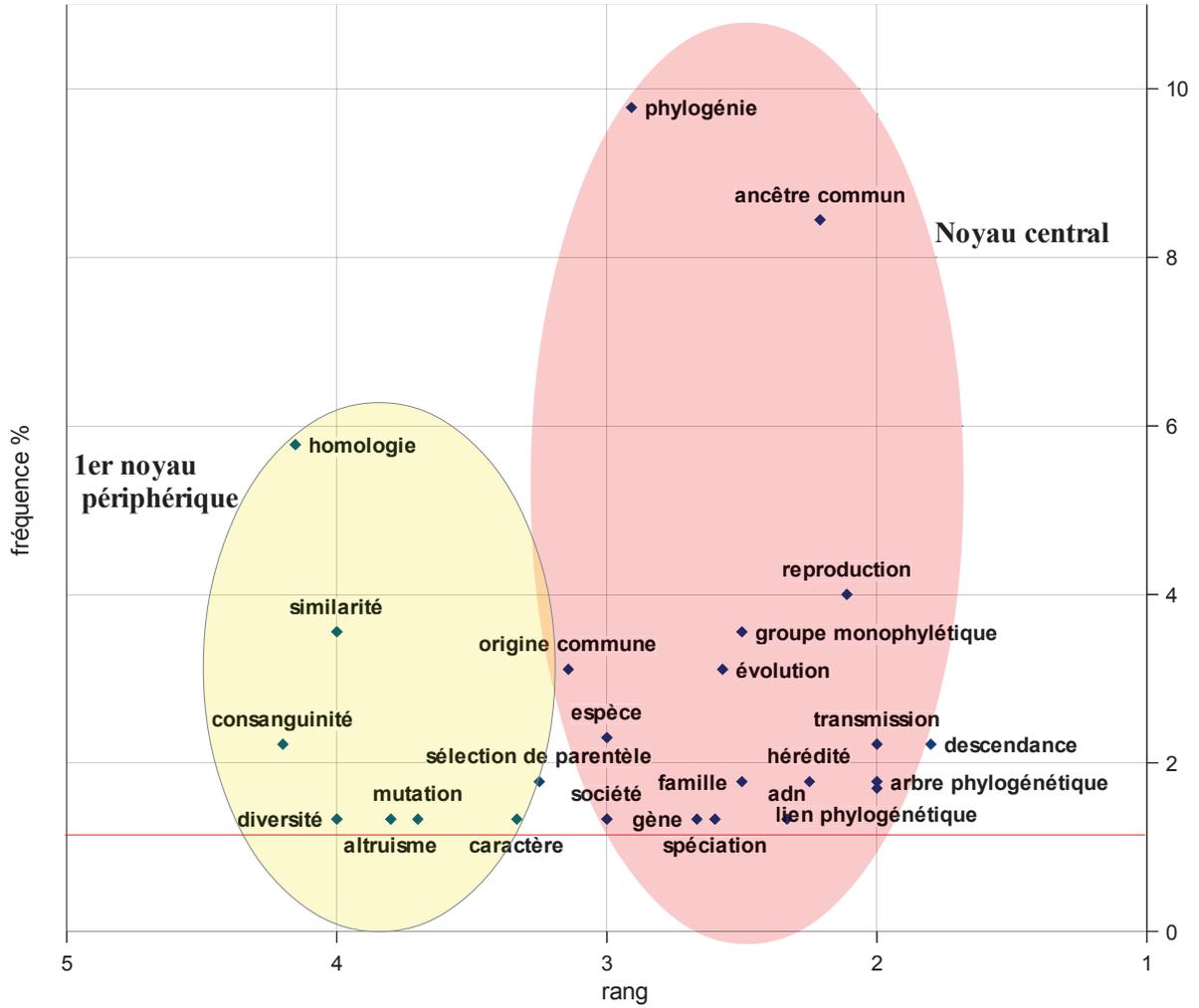
MOT STIMULUS « PARENTE »

Nombre total d'items : 225. La fréquence moyenne est : 1,3

«Parenté »	Rang <= 3	Rang > 3
<p>Fq >= Fq moyenne (1,3)</p>	<p>Noyau central phylogénie ancêtre commun reproduction groupe monophylétique évolution descendance transmission espèce arbre phylogénétique lien phylogénétique hérédité famille adn gène spéciation société</p>	<p>1er noyau périphérique homologie similarité origine commune consanguinité sélection de parentèle caractère altruisme mutation diversité</p>
<p>Fq < Fq moyenne (1,3)</p>	<p>Éléments contrastés coefficient de parenté génétique histoire évolutive partage de gène divergence modification taxon apparemment continuité distance évolutive fratrie monogénisme sélection dérive ascendance barrière génétique dérive homogénéité méiose organisme vivant proximité génétique régime de reproduction silver spoon effect statistique système de reproduction abeille corail interfécondité innovation évolutive variation</p>	<p>2nd noyau périphérique population généalogie coalescence orthologie autofécondation communication conservation convergence évolutive dépression de consanguinité échantillonnage états de caractère identique lois de Mendel marqueurs moléculaires modèle paralogie parent recombinaison réseau allèles effets maternels enfant Hamilton homogamie hybridation polyphilie protection temps</p>

Tableau n°17 : les 4 groupes « Abric » pour le mot-stimulus « parenté »

Noyau central et 1er noyau périphérique
mot stimulus "parenté" chercheurs



Graphique n° 3 : les items du noyau central et du premier noyau périphérique de la liste d'importance « **parenté** » en fonction de la fréquence et du rang moyen.

III. 1. 3. Le classement par rang maximal atteint

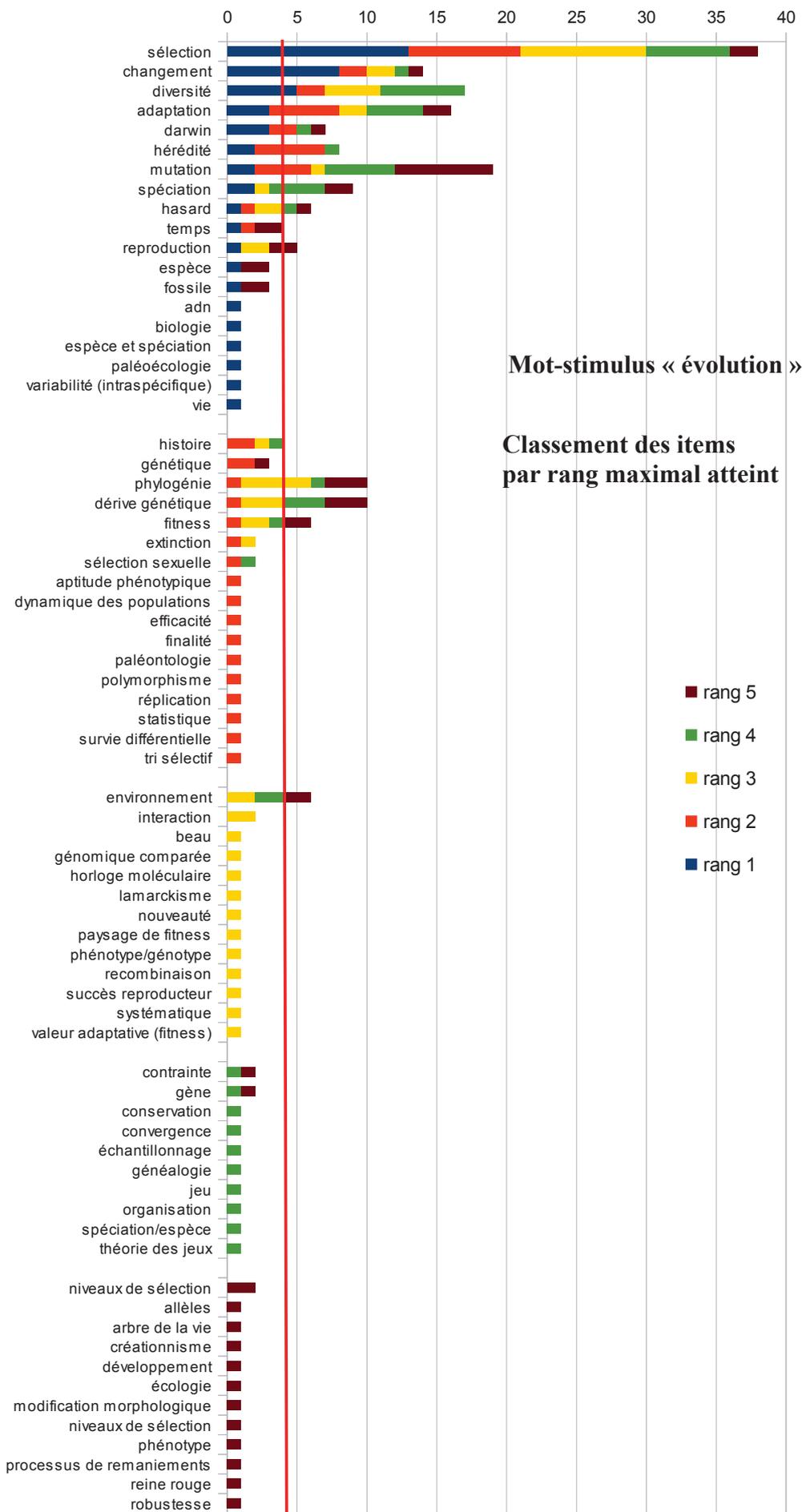
MOT STIMULUS « EVOLUTION »

La moyenne d'occurrence d'un item dans cette liste est 4 (= 1,61 %). Pour notre analyse nous retenons les items dont l'occurrence est supérieure à l'occurrence moyenne (Ligne rouge sur le graphique). Dans la colonne « rang 1 » sont placés les items qui ont été au moins une fois classés en rang 1. Dans la colonne « rang 2 » se trouvent les items qui ont été classés au mieux en rang 2 et ainsi de suite.

Rang 1	Rang 2	Rang 3
sélection changement variation adaptation spéciation Darwin mutation diversité hérédité hasard reproduction temps	histoire phylogénie dérive fitness	environnement

Tableau N°18 : les groupes d'items retenus en fonction de leur rang maximal atteint et classés par occurrence totale décroissante (mot-stimulus « évolution »)

La graphique suivant fournit une vue d'ensemble des items obtenus pour le mot-stimulus « évolution ». Les items sont classés par leur rang maximal atteint puis leur occurrence dans les rangs suivants.

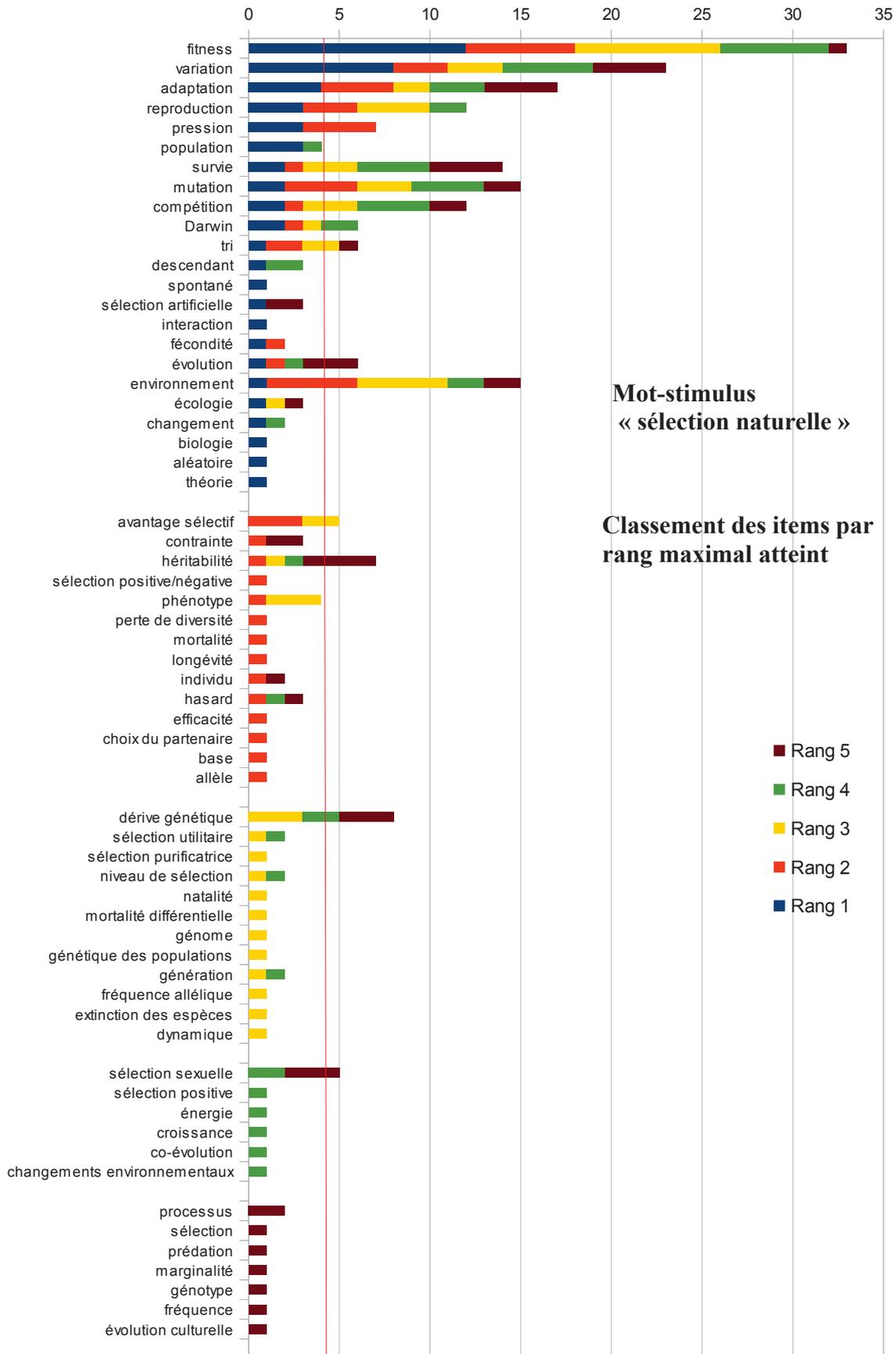


MOT STIMULUS « SELECTION »

L'occurrence moyenne pour un item est de 4,19.

Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4
fitness variation adaptation reproduction pression survie mutation compétition Darwin tri évolution environnement	avantage sélectif héritabilité	dérive génétique	sélection sexuelle

Tableau n°19 : les groupes d'items retenus en fonction de leur rang maximal atteint et classés par occurrence totale décroissante (mot-stimulus « sélection naturelle »)

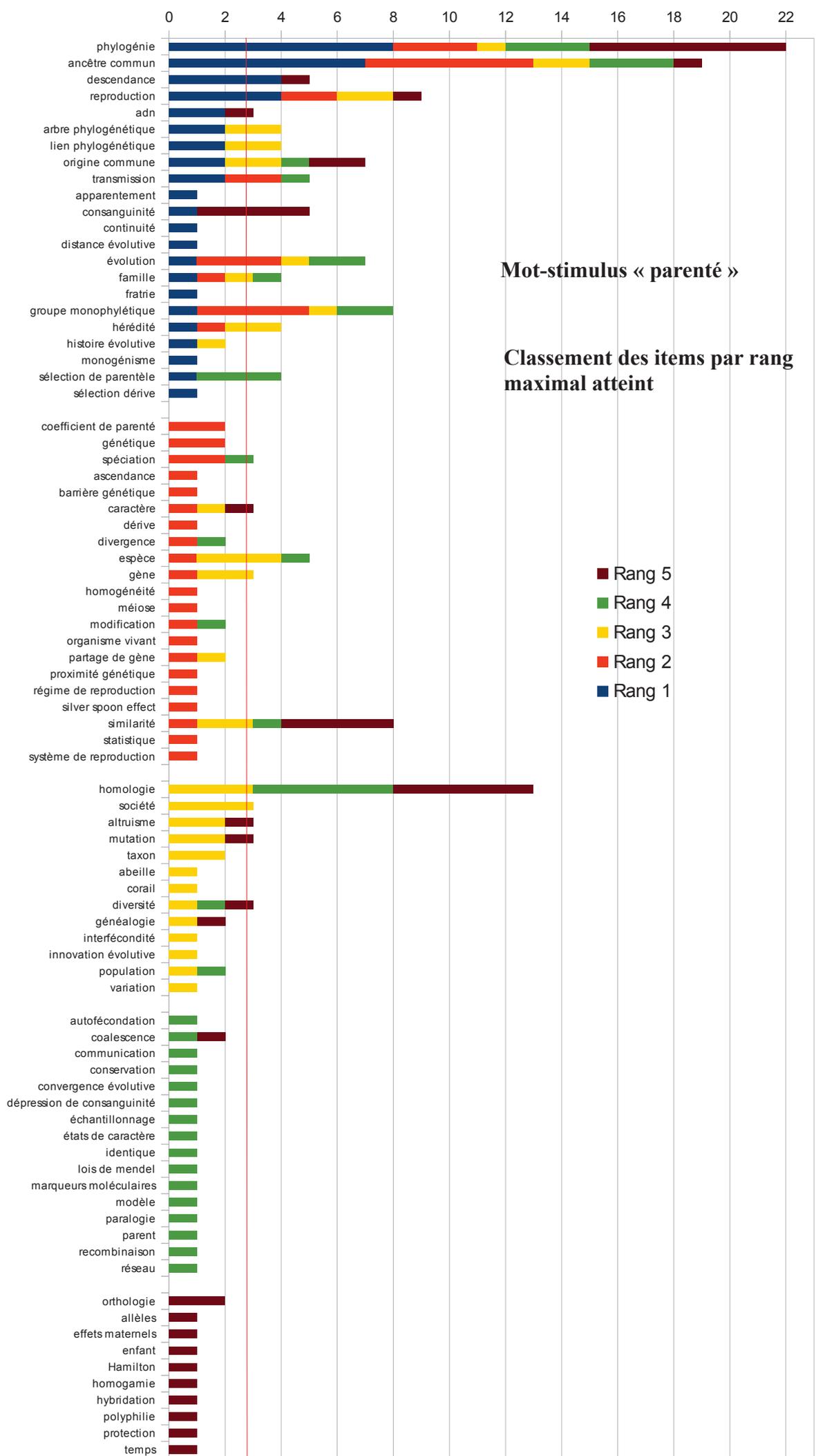


MOT STIMULUS « PARENTE »

L'occurrence moyenne pour le mot-stimulus « parenté » est de 2,7.

Rang 1	Rang 2	Rang 3
phylogénie ancêtre commun descendance reproduction ADN arbre phylogénétique lien phylogénétique origine commune transmission consanguinité évolution famille groupe monophylétique hérédité sélection de parentèle	spéciation caractère espèce gène similarité	homologie société altruisme mutation diversité

Tableau n°20 : les groupes d'items retenus en fonction de leur rang maximal atteint et classés par occurrence totale décroissante (mot-stimulus « parenté »)



III. 1. 4. Les valeurs d'importance

Elle est le produit de la fréquence moyenne d'un item et de son rang moyen. Nous retenons les items qui sont au-dessus de la valeur d'importance moyenne pour chaque mot-stimulus.

« EVOLUTION »		« SELECTION »		« PARENTE »	
Valeur moyenne : 4,9		Valeur moyenne : 5		Valeur moyenne : 3,7	
sélection	60,4	fitness	37,7	ancêtre commun	32
changement	23,3	adaptation	22,8	phylogénie	30,2
mutation	20,8	variation	21,9	reproduction	15,6
adaptation	20,8	environnement	20,2	groupe monophylétique	12,4
variation	15,5	mutation	17,5	homologie	10,7
hérédité	13,1	reproduction	15,8	évolution	10,7
spéciation	12,3	pression	13,6	descendance	9,3
diversité	11,4	compétition	13,2	origine commune	8,9
phylogénie	11	survie	12,7	transmission	8,9
Darwin	10,6	Darwin	9,2	arbre phylogénétique	7,1
dérive génétique	9	population	7,5	lien phylogénétique	7,1
hasard	7,3	tri	7,5	similarité	7,1
fitness	6,9	évolution	6,1	espèce	6,7
histoire	5,3	phénotype	5,7	hérédité	6,7
reproduction	5,3	héritabilité	5,7	famille	6,2
environnement	4,9	dérive génétique	5,3	ADN	4,9
				sélection de parentèle	4,9
				gène	4,4
				spéciation	4,4
				consanguinité	4
				société	4

Tableau n° 21 : Les valeurs d'importance (> valeur d'importance moyenne) des items obtenus pour les 3 mots-stimulus

III. 2. Analyses

III. 1. 1. Introduction

En comparant les groupes d'items obtenus et retenus par les 3 méthodes utilisées (recherche du noyau central et périphérique, recherche de la répartition des occurrences en fonction du rang maximal atteint, calcul de la valeur d'importance) nous constatons une homogénéité des résultats pour chacun des 3 mots-stimulus.

Pour le mot-stimulus « évolution » un groupe de 17 items émerge dont 16 sont présents dans les listes retenues pour les 3 méthodes, et 1 pour 2 méthodes (l'item « temps » n'est pas présent dans la liste des valeurs d'importance, sa valeur étant sous la valeur moyenne).

Pour le mot-stimulus « sélection », 14 items sont communs aux 3 listes obtenues qui comportent 16 ou 17 items au total. (Les items non communs sont : phénotype, population, avantage sélectif, sélection sexuelle.)

Pour le mot-stimulus « parenté », 21 items sont communs aux 3 listes obtenues qui comptent 21 ou 25 items au total. (les items non communs sont : caractère, altruisme, mutation, diversité)

Les différents traitements des données font émerger des noyaux durs pour chaque mot-stimulus en même temps qu'ils mettent en avant des nuances de placement selon que l'on tient compte de la fréquence ou du rang.

Premiers constats et plan de l'analyse

Les résultats nous font percevoir d'emblée la place prédominante de la « sélection » dans le corpus obtenu pour l'item « évolution ». Ce constat est renforcé par la comparaison entre les listes obtenues pour les mots-stimulus « évolution » et « sélection ». En effet, 9 items sont communs aux deux listes obtenues pour ces 2 mots stimulus, dont les items à forte occurrence, sur les 16 présents. Nous interrogeons ce constat dans la première partie de l'analyse et discutons des contours de ce concept majeur chez les chercheurs à partir notamment des définitions.

Cet approfondissement autour de l'item sélection nous permet en même temps de repérer à partir des nombreuses définitions récoltées (38) si le mot-stimulus a été pensé

comme un concept scientifique ou non. Nous avons en effet demandé aux chercheurs des définitions pour les 5 items principaux de leur réseaux, sans préciser le type de définition attendues. Nous postulons que si une personne définit un concept scientifique l'énoncé produit aura une dimension explicative qui ira au-delà de l'aspect sémantique du signifiant. Cette définition explicative nécessitera de mettre le concept en lien argumenté avec d'autres concepts. Ces définitions « élargies » seront pour nous un indice de l'aspect conceptuel des items mobilisés. Nous profitons du nombre élevé de définitions à notre disposition pour l'item « sélection » pour mettre en œuvre cet indicateur.

Nous analysons également nos données à travers le couple process/pattern. Nous classons les items en tant qu'ils sont des process ou des patterns de l'évolution en les mettant en regard de notre cadre épistémologique. Nous préciserons pour chaque item catalogué « pattern » s'il s'agit d'un pattern « matériel » ou d'un pattern « historique » tels que nous les avons définis dans la partie 1. Les valeurs d'importance correspondantes permettent d'estimer la pondération de chaque pôle dans les représentations des chercheurs. La question que nous nous posons est de savoir si « l'évolution » est pensée de manière équilibrée entre process et pattern ou si un des pôles est privilégié dans le monde des spécialistes de l'évolution, du moins dans leur représentation.

Dans une dernière partie de l'analyse nous nous intéressons aux éléments des réseaux qui nous donnent accès à la nature des savoirs scientifiques mobilisés par les chercheurs. En effet, nous avons insisté dans notre cadre épistémologique sur le caractère apodictique des savoirs scientifiques c'est-à-dire sur leur dimension explicative s'appuyant sur les conditions de possibilité du thème investi. Les mots-stimulus que nous avons choisis sont soit l'évolution elle-même soit des concepts de l'évolution suffisamment généraux et fédérateurs pour couvrir chacun un champ de savoir scientifique sur l'évolution.

Nous postulons que si les personnes sondées mobilisent un savoir apodictique vis à vis des mots-stimulus utilisés, le mode de recueil fera émerger des éléments de ce savoir apodictique et notamment les conditions de possibilité du champ de savoir correspondant au mot-stimulus testé.

les conditions de possibilité sont, dans les savoirs qui nous intéressent, les propriétés biologiques des êtres vivants qui rendent possibles soit l'évolution biologique, soit la sélection, soit la parenté telles que nous les connaissons.

Pour l'évolution et la sélection, ces conditions de possibilité se recoupent : évolution et sélection ne peuvent se produire que s'il existe au départ une variation entre des « entités » biologiques, que ces entités se reproduisent et que les variations soient héréditaires. (Gayon, 2004 ; Barberousse, 2011) Nous nous attendons donc à trouver ces items ou des synonymes dans les résultats. Nous limitons volontairement en première approche cette liste des conditions de possibilité aux conditions *sine qua non* des processus étudiés.

Pour la parenté, les conditions de possibilité qui rendent nécessaires la parenté entre tous les êtres vivants sont : l'origine commune du vivant, la reproduction et l'hérédité.

A l'aide de cet indicateur d'analyse, présence ou non dans les listes d'importance des conditions de possibilité du savoir scientifique correspondant au mot-stimulus, nous pouvons estimer le degré d'apodicticité du savoir mobilisé par les chercheurs. Nous complétons cette estimation par l'analyse des définitions en vérifiant si les concepts mis en relation dans les définitions élargies sont ceux correspondant aux conditions de possibilité attendues pour le mot-stimulus testé.

Nous avons souhaité obtenir un retour des chercheurs en évolution sur nos résultats et nous avons organisé un entretien avec 3 chercheurs ayant répondu à notre enquête pour discuter avec eux des résultats obtenus et leur demander leur degré d'adhésion. Cet entretien fait partie d'un processus de validation de l'outil utilisé (le réseau d'association) et des résultats quantitatifs qu'il a fourni. La discussion nous donnera également un aperçu des divergences éventuelles existant entre des chercheurs en évolution qui travaillent dans des domaines différents. Nous présenterons les éléments principaux de cet entretien en fin d'analyse.

III. 2. 2. La place hégémonique de la sélection naturelle.

L'item « sélection » est le seul qui soit largement majoritaire parmi les chercheurs. 41 chercheurs sur 49 l'ont placé dans les 5 premiers items de la liste d'importance et c'est celui qui est le plus souvent placé en rang 1 (13 occurrences à ce rang). Il occupe également la première place à chaque rang excepté pour le cinquième. Pour comparaison, l'item « mutation » qui occupe la deuxième place dans le classement par occurrence est cité « seulement » 21 fois dans la liste d'importance globale (pour les 5 premiers items).

Si l'on tient compte uniquement du rang moyen, l'item sélection n'apparaît pas premier.

Mais cela s'explique par un biais de l'analyse : comme cet item occupe la première place quel que soit le rang considéré, son rang moyen a tendance à le situer en situation médiane c'est-à-dire près de 3. Ce rang moyen « faible » est dans ce cas un effet de son omniprésence et cela conforte plutôt sa position hégémonique.

Cette omniprésence de la « sélection » dans la représentation des chercheurs fait de cet item un pilier essentiel du paysage conceptuel des chercheurs en évolution. Cependant sa position « dominante » ou hégémonique est à interroger.

En lien avec l'item « sélection » nous sommes surpris de la forte occurrence de l'item « Darwin ». Il est présent dans le groupe des items placés au moins une fois en rang 1 et dans les noyaux centraux pour les mots-stimulus « évolution » et « sélection ». L'étonnement vient du fait que si sa présence dans la liste d'évocation peut sembler « naturelle » (il est le « père fondateur » de la théorie de l'évolution, ou plutôt de la descendance avec modifications sous l'effet de la sélection naturelle), nous pouvions supposer qu'il serait beaucoup moins présent, après réflexion, dans les 5 premiers items des listes d'importance. Or, il se maintient très bien. Nous pourrions alors supposer que « Darwin » est entendu dans le sens de darwinisme mais les définitions nous détrompent car elles font essentiellement référence au personnage qui a formalisé le concept de la sélection naturelle et également (pour un des chercheurs) celui de la variation. Jean Gayon s'interroge sur « *Cette référence persistante d'une discipline scientifique bien établie à un individu* » qui « *constitue une situation assez exceptionnelle dans l'histoire de la science contemporaine.* » (Gayon, 2000, p. 205) Selon lui, la communauté évolutionniste pourrait parler aujourd'hui de la théorie de l'évolution sans faire référence à Darwin mais ce n'est pas le cas, et la figure darwinienne reste prégnante dans le paysage conceptuel des évolutionnistes.

D'après les définitions recueillies « Darwin » est associé intimement au concept de sélection naturelle ce qui semble de prime abord évident, et il vient ici consolider s'il en était besoin l'item « sélection ». Cependant, la « sélection » telle qu'elle est pensée aujourd'hui n'est plus exactement la « sélection » pensée par Darwin (mais les définitions de notre corpus ne font pas référence à ce décalage). Ce concept a une histoire mouvementée et les contours de sa définition actuelle sont en partie différents de ceux de « l'origine des espèces ». Tout au long du XX^{ème} siècle les découvertes au niveau cellulaire

puis moléculaire avec l'émergence de la génétique ont largement modifié les contours de ce principe et sa place au sein de la théorie de l'évolution (Gayon, 1992). Aujourd'hui encore, si son existence n'est plus remise en question son contenu n'est pas complètement stabilisé et il donne toujours lieu à des débats épistémologiques (Hunemam, 2011).

Quoi qu'il en soit, nous retenons que l'item « évolution » est, pour une majorité de chercheurs, associé à l'item « sélection ». Remarquons cependant que le concept de « variation » aurait pu avoir le même sort que celui de « sélection ». L'hypothèse de la sélection naturelle a émergé quand Charles Darwin a regardé le vivant dans une approche nominaliste et non plus essentialiste. Dans ce cadre, les différences entre individus ne sont plus interprétées comme des écarts vis à vis d'un type idéal (éventuellement de création divine). Cependant, l'existence de variations fréquentes entre les individus devrait conduire à une grande dispersion au sein des espèces ce qui ne se produit pas complètement. C'est en voulant expliquer cette tension, que Darwin proposera le principe de sélection naturelle. (Lecointre, Le Guyader 2001). Nous voyons aussi en quoi la variation est une des conditions de possibilité de la sélection. Dans un monde sans variation, pas d'objet à sélectionner.

L'item sélection, son grand nombre d'occurrence et les définitions associées nous permettent d'explorer plus avant ce que recouvre ce concept central chez les chercheurs. Nous cherchons notamment à savoir si certains points de discussion que nous avons soulevés dans la première partie sont repérables dans nos résultats. Nous regardons son rapport à la dérive génétique, à l'adaptation et à la fitness.

Sélection et dérive génétique.

Nous souhaitons observer quelle place est faite à la dérive génétique comme processus de l'évolution. La sélection est-elle présentée comme le seul processus ou non ? Mais d'abord est-elle bien définie comme un processus ?

17 définitions de la sélection sur 38 commencent par les termes « mécanisme » ou « processus » ou « tri » et assimilent donc explicitement la sélection à un processus. 1 seule définition débute par le terme de « résultat ». 2 définitions qualifient la sélection de « force évolutive » et 2 autres de « moteur de l'évolution », formulations qui relèvent aussi du mécanisme.

Seules 2 définitions présentent la sélection comme unique mécanisme de l'évolution : La sélection est pour ces auteurs « le moteur de l'évolution ». Aucune autre définition n'est aussi radicale. 2 définitions explicitent au contraire qu'un ou des autres mécanismes agissent. (« un des deux grands mécanismes », « un des moteurs »). Pour la grande majorité des définitions, en regardant les déterminants des premiers termes de la définition (mécanisme, process, tri,...) nous notons soit l'absence de déterminant soit la présence d'un article indéfini. Nous pensons que cette indétermination laisse ouvert la possibilité d'autres mécanismes telle que la dérive génétique.

Sélection-adaptation

Sur 38 définitions de la sélection, 11 font référence explicitement à l'adaptation. (« adaptés » ou « adaptation ») 5 parmi ces 11 précisent que l'adaptation se fait par rapport à l'environnement : « adaptation à leur environnement ». 3 définitions contiennent l'expression « les plus aptes ».

Le lien sélection-adaptation n'apparaît donc pas aussi fusionnel que nous pouvions le penser car 27 définitions n'y font pas référence. Nous pouvons supposer cependant qu'il reste un implicite fort puisque les résultats obtenus pour le mot-stimulus « sélection » placent l'adaptation dans les items de tête. Mais en nombre d'occurrence, « adaptation » a été placée dans leur liste d'importance pour le mot-stimulus « évolution » par 17 chercheurs sur 49 ce qui est deux fois moins que pour la sélection.

Sélection-fitness

Finalement, plus qu'en terme d'adaptation comme pouvait nous le faire penser les listes d'évocation, c'est le champ sémantique de la fitness et de la variation qui est mis explicitement en avant dans la majorité des définitions. (20 définitions /38). Dans notre corpus, la sélection est majoritairement présentée comme un mécanisme dont l'effet dépend de la fitness des individus, elle-même liée à la variation phénotypique, et au succès de la transmission des traits avantageux et héréditaires. Le niveau de sélection est le phénotype individuel. Ces définitions orientent davantage la sélection du côté biologique (individus et génomes) que du côté de l'environnement et de l'adaptation. C'est l'aspect biologique et organique de la sélection qui émerge de notre corpus. Cela s'accompagne de l'utilisation d'un vocabulaire plus spécialisé (fitness, variant phénotypique, valeur de trait, fréquence

allélique,...) qu'il sera pertinent de comparer avec le vocabulaire des enseignants. Dans l'idée de cette spécialisation il est intéressant de repérer que dans l'ensemble du corpus recueilli, la sélection se décline aujourd'hui sous plusieurs types ou modes : utilitaire, purificatrice, sexuelle, de parentèle, de groupe, stabilisante, positive, négative.

Pour poursuivre l'analyse nous regardons maintenant les définitions des items « adaptation » et « fitness » qui sont arrivés en tête pour le mot-stimulus « sélection ».

Adaptation

27 définitions ont été recueillies. La première lecture donne une impression d'hétérogénéité qui est due en premier lieu au positionnement des chercheurs vis à vis du couple process /pattern. Nous avons déjà signalé que la distinction entre process et pattern est peu opérante pour l'adaptation puisqu'elle est en tension entre ces deux pôles. Nous retrouvons cette ambivalence dans les définitions : 9 définitions présentent clairement l'adaptation comme un résultat de la sélection naturelle donc comme un pattern de l'évolution. 4 la présentent comme étant seulement un mécanisme et pour 2 définitions l'adaptation est à la fois un mécanisme et le résultat de ce mécanisme.

Mais dans le reste des définitions, l'adaptation n'est ni un process ni un résultat mais la capacité ou l'aptitude d'un organisme à changer c'est-à-dire une propriété intrinsèque des individus. La coexistence de ces différents niveaux de définition confirme la complexité de ce concept majeur de l'évolution même au sein d'un panel de spécialistes de l'évolution.

Par rapport à la sélection naturelle, nous constatons qu'elle n'est pas systématiquement présente dans les définitions. Seules 9 définitions sur 26 contiennent l'item « sélection naturelle » ou 'sélection » et c'est majoritairement quand l'aspect résultat de l'adaptation est présenté.

L'item le plus consensuel dans les définitions de l'adaptation est l'environnement. 21 définitions sur 26 contiennent une référence à l'environnement (environnement, milieu, conditions du milieu,...) et l'adaptation se fait majoritairement, dans nos définitions, par rapport à lui.

Fitness

Les définitions sont ici assez homogènes et la fitness apparaît comme une valeur mesurant la capacité d'un individu à survivre et à transmettre ses gènes. L'aspect quantitatif et « mesurable » est prégnant : (valeur numérique, nombre de descendant, mesure de la capacité,...).

Nous repérons que certaines définitions se rapprochent de celles de l'adaptation, notamment celles axées sur le terme de capacité. Par exemple, une des définitions de l'adaptation est : « capacité à survivre et à se reproduire dans le milieu où l'on se trouve ». Elle est comparable à « valeur sélective, décrivant la capacité à survivre, se reproduire et produire une descendance fertile » qui est une des définitions de fitness. 5 définitions d'adaptation se rapprochent de la sorte de la définition de la fitness. Peut-être est-ce là le signe d'une tentative de substitution de l'adaptation qui reste un concept délicat d'utilisation.

Les définitions de la fitness recueillies sont donc consensuelles et cela peut sembler étonnant au regard des débats que suscite ce terme depuis son origine. Comme le dit Philippe Huneman « *Ce mot est peut-être le plus délicat de toute la théorie de l'évolution ; Il désigne un mixte de survie et de reproduction.* » (Huneman, 2011, p. 100). Il donne en effet lieu à de nombreuses publications de la part des biologistes et des épistémologues qui n'en finissent pas d'explorer la nature et le champ d'application de ce concept (Sachse, 2011). Ce qui n'empêche pas les chercheurs de l'utiliser couramment et finalement d'en posséder une représentation commune même si sa définition n'est pas stabilisée. Frédéric Bouchard précise que « *Les biologistes utilisent le concept de fitness de diverses manières, pas nécessairement cohérentes, et réussissent tout de même à mener leur recherche.* » (Bouchard, 2011, p. 425).

Nous regardons maintenant la nature des définitions recueillies pour l'item « sélection » auprès des chercheurs. Globalement nous sommes en présence d'une majorité de définitions « élargies » qui vont au-delà d'une définition sémantique de l'item défini et qui sont de l'ordre de la définition d'un concept scientifique, parfois incomplète mais envisagée comme tel.

Exemples pour l'item « sélection »

« Processus par lequel une population d'êtres vivants se transforme du fait que les individus la constituant ont des espérances de survie et de reproduction différentes en fonction de traits héréditaires. »

« Processus par lequel les individus qui laissent en moyenne plus de descendants dans un environnement donné et à un moment donné vont augmenter en fréquence dans les populations, si cet avantage est transmis à leurs descendants. »

Nous voyons comment ces deux définitions expliquent le processus de sélection dans le contexte générationnel et mobilisent la variation, la reproduction, l'hérédité ou encore la fitness. 20 définitions sur 38 sont de cette nature, les autres étant plus courtes et plus descriptives du processus.

III. 2. 3. Répartition process/pattern

L'évolution est un champ scientifique mobilisant des objets dont les niveaux d'organisation vont de la molécule à l'écosystème, appartenant à des disciplines différentes (géologie, écologie, biologie), faisant appel à des processus variés, intemporels et omniprésents mais également à des patrons (= patterns) situés historiquement. Nous recherchons comment se répartissent les items recueillis par rapport à ces deux catégories. La part relative des process et des patterns dans les noyaux centraux et périphériques donne une première idée de la prégnance des sciences fonctionnalistes et historiques dans la représentation des chercheurs.

Nous utilisons notre cadre épistémologique (tableau des process et des patterns dans la partie 1) pour catégoriser les items présents dans les noyaux centraux et périphériques. Nous tenons compte de la distinction que nous avons faite entre les patterns « matériels » et les patterns « historiques ».

Tout au long de ce travail nous tenons compte également des définitions de notre corpus pour mesurer l'adéquation des définitions des chercheurs avec notre catégorisation. Nous regardons également dans les listes obtenues pour chaque mot-stimulus si ce que nous appelons les conditions de possibilité sont présentes.

La distinction process/pattern n'est cependant pas opérante pour tous les items. Certains ne sont ni l'un ni l'autre, par exemple « environnement » ou « Darwin ». Mais certains, au contraire peuvent être l'un et l'autre selon le contexte de leur utilisation.

Nous nous intéressons particulièrement à l'item « adaptation » en tant qu'il représente

une difficulté dans l'enseignement (l'adaptation est souvent prise comme argument du finalisme évolutif par les élèves). Nous avons vu que pour certains chercheurs elle est entendue comme un mécanisme et dans d'autres elle est explicitement le résultat ou un effet de la sélection. Nous avons vu que dans la littérature autorisée, la distinction process/pattern n'est pas tranchée (Grandcolas, 2001 ; Saches, 2011). Il n'y a donc pas d'emblée une définition stabilisée et complète de l'adaptation parmi nos chercheurs et cependant c'est un concept majeur fréquemment utilisé. Mais comme le dit l'un d'entre eux : « *bien que controversé, ce terme est néanmoins, quand utilisé entre personnes averties, un bon résumé.* »

C'est surtout l'aspect « mécanisme » de l'adaptation qui doit être manipulé avec précaution dans le cadre de son enseignement. Sous cet angle, l'adaptation biologique peut facilement et intuitivement être perçue comme intentionnelle notamment chez les non spécialistes. Parmi les chercheurs, aucune définition ne fait appel à une quelconque finalité mais avec des formulations telle que : « *la population s'est adaptée à de nouvelles conditions* » qui sont rendues possibles quand on regarde l'adaptation sous l'aspect processus , un public non averti peut croire que le processus est intentionnel ce qui laisse le champ libre à un finalisme de bonne foi. Un didacticien des SVT n'hésite pas à classer l'adaptation dans le groupe des « concepts pourris » de l'évolution. Cette appellation, un brin provocatrice, pose de manière explicite le problème de ces concepts qui sont des incontournables de l'évolution mais dont la manipulation est mal aisée. Nous pensons que le malaise ressenti devant le concept d'adaptation (que l'on ait à le comprendre ou/et à l'enseigner) pourrait provenir en partie de sa double casquette épistémologique qui si elle n'est pas explicitée et surtout contextualisée rend hasardeuse sa compréhension.

III. 2. 3. 1. Process/pattern pour le mot-stimulus « évolution »

Nous présentons dans le tableau suivant la répartition process/pattern des items du noyau central et du noyau périphérique pour le mot-stimulus « évolution ». Nous indiquons les valeurs d'importance de chaque item ce qui nous donne leur pondération dans le paysage des chercheurs. (valeur d'importance : fréquence moyenne de l'item par son rang moyen)

mot-stimulus « évolution »	process	pattern « historique »	pattern « matériel »	autre	valeur d'importance process	valeur d'importance pattern
Noyau central						
sélection	X				60,4	
adaptation	X				20,8	
changement	X				23,3	
variation	X				15,5	
diversité			X			11,4
hérédité	X				13,1	
Darwin				X		
hasard				X		
histoire de la vie		X				5,3
Noyau périphérique						
mutation	X				20,8	
spéciation	X				12,3	
phylogénie		X				11
dérive	X				9	
fitness				X		
environnement				X		
reproduction	X				5,3	
temps				X		
TOTAL	9	2	1	5	180,5	27,7

Tableau n°22 : répartition process/pattern pour le mot stimulus « évolution »

Commentaires

Nous observons une prédominance des process dans les items majoritaires. 9 items sur 17 sont des mécanismes et 3 sont des patterns dont un seul pattern « matériel ».

Cette prédominance des process associée à quelques patterns donnent à la liste d'items du mot-stimulus « évolution » un double aspect, à la fois « immatériel » et « intemporel ». Les items majoritaires sont des process de l'évolution par nature ubiquistes et intemporels et ne réfèrent pas à une chronologie de l'évolution. Les patterns « historiques », éléments au contraire inscrits dans un temps situé, (phylogénie, histoire de la vie,...) sont minoritaires.

D'après cette liste d'items nous remarquons que les chercheurs semblent avoir répondu davantage à la question des conditions de réalisation de l'évolution qu'à la question de l'historicité du monde vivant. Le mot-stimulus « évolution » a été davantage entendu comme synonyme de « processus évolutif » que comme le pattern global du monde vivant. Dans ce cas nous devrions trouver les conditions de possibilité de l'évolution dans les noyaux des chercheurs. Elles sont effectivement présentes : « variation » « reproduction » et « hérédité » sont dans ces noyaux.

Dans le reste de la liste, des items représentent le cadre spatio-temporel terrestre dans lequel se déroule l'évolution : « temps », « environnement ».

Les processus de l'évolution sont présents : « sélection » avec une place prépondérante et « dérive génétique », mais aussi « spéciation » et « adaptation ».

Dans ce cadre de contraintes biologiques, spatiales et temporelles se déroule l'histoire du vivant avec des items correspondant à des patterns « historiques » : « histoire » et « phylogénie ». Par contre, aucun item dans les noyaux des chercheurs ne correspond à un objet biologique concret de l'évolution.

Nous remarquons également que l'item « hasard » est présent dans le noyau central.

III. 2. 3. 2. Process/pattern pour le mot-stimulus « sélection »

mot-stimulus «sélection »	process	pattern « historique »	pattern « matériel»	autre	valeur d'importance process	valeur d'importance pattern
Noyau central						
fitness				X	37,7	
adaptation	X				22,8	
variation	X				21,9	
environnement				X		
mutation	X				17,5	
reproduction	X				15,8	
pression				X		
Darwin				X		
tri	X				7,5	
population		X				7,5
phénotype			X			5,7
Noyau périphérique						
compétition	X				13,2	
survie				X		
héritabilité				X		
évolution	X	X			6,1	6,1
dérive génétique	X				5,3	
sélection sexuelle	X				3,1	
TOTAL	9	2	1	6	150,9	19,3

Tableau n°23 : répartition process/pattern pour le mot stimulus « sélection »

Commentaires

Une majorité de process également pour le mot-stimulus « sélection » ce qui est peu surprenant pour un mot-stimulus qui est un process. Nous remarquons que dans la liste issue du mot-stimulus « sélection », les conditions de possibilité de la sélection naturelle sont présentes : variation, mutation, reproduction, héritabilité. Nous remarquons également la présence de 2 patterns qui correspondent pour l'un au niveau d'action de la sélection : « phénotype » et pour l'autre son effet à une échelle plus grande : « population ».

III. 2. 3. 3. process/pattern pour le mot-stimulus « parenté »

mot-stimulus « parenté »	process	Pattern « historique »	Pattern « matériel »	autre	Valeur d'importance process	Valeur d'importance pattern
Noyau central						
phylogénie		X				30,2
ancêtre commun		X				32
reproduction	X				15,6	
groupe monophylétique			X			12,4
évolution	X	X			10,7	10,7
descendance		X				9,3
transmission	X				8,9	
espèce		X				6,7
arbre phylogénétique		X				7,1
lien phylogénétique		X				7,1
hérédité	X				6,7	
famille			X			6,2
ADN			X			4,9
gène			X			4,4
spéciation	X				4,4	
société			X			4
Noyau périphérique						
homologie				X		
similarité				X		
origine commune		X				8,9
consanguinité				X		
sélection de parentèle	X				4,9	
caractère			X			
altruisme	X					
mutation	X					
diversité			X			
TOTAL	8	8	7	3	51,2	143,9

Tableau n°24 : répartition process/pattern pour le mot stimulus « parenté »

Commentaires

15 patterns (7 patterns « matériels » et 8 patterns « historique »s) et 8 process sur 25 items au total. Ces résultats confirment, s'il en était besoin, que la parenté est envisagée par les chercheurs dans le cadre de la classification phylogénétique qui s'est développée à partir des années 60. Une majorité de pattern émerge ici et notamment 7 patterns « matériels » qui sont les objets biologiques de la classification phylogénétique. C'est la première entrée conséquente des patterns « matériels » dans les résultats des chercheurs.

Comme pour les deux mots-stimulus précédents, les conditions de possibilité de la parenté sont présents : origine commune, descendance, hérédité, reproduction, transmission. Les autres items correspondent aux outils de l'analyse phylogénétique (homologie, similarité, lien phylogénétique, ancêtre commun, caractère, ADN, gène) et aux patterns « historiques » (arbre monophylétique, groupe monophylétique, phylogénie).

Conclusion

En tenant compte uniquement dans un premier temps de la présence ou de l'absence des items et non pas de leur rang, nous pouvons dire que les noyaux centraux et périphériques obtenus offrent un panorama complet de l'évolution « biologique ». Nous avons en effet pour le mot-stimulus « évolution » un ensemble regroupant les propriétés du vivant en lien étroit avec les conditions de possibilité de l'évolution, le cadre spatio-temporel de l'évolution, les processus évolutifs agissant sur le vivant et les résultats de l'évolution.

Les différents paysages obtenus pour les 3 mots-stimulus présentent l'ensemble des composantes du savoir scientifique de l'évolution contemporaine. Ils sont structurés autour des conditions de possibilité quel que soit le mot-stimulus et délimitent le champ d'application de chacun des concepts.

L'étude des définitions montrent que majoritairement les chercheurs ne se contentent pas de l'aspect descriptif d'un item mais qu'ils le mettent en relation avec d'autres et précisent sa fonction dans le cadre évolutif.

Nous avons là des indicateurs d'un savoir scientifique apodictique qui s'énonce à l'aide de concepts scientifiques qui fonctionnent en réseau. Nous ne sommes pas surpris de ce résultat en ce sens que le travail de recherche est un travail de mobilisation et d'élaboration

de concepts scientifiques pour répondre à des problèmes toujours renouvelés et qui construisent un savoir scientifique explicatif.

Au final, le paysage conceptuel de l'évolution des chercheurs présente un aspect immatériel (peu d'observables) et intemporel, axé sur les conditions de nécessité de l'évolution, ses mécanismes et ses résultats. Nous pouvons dire que le paysage conceptuel des chercheurs est bien ...conceptuel !

En tenant compte des pondérations des items nous remarquons la position centrale de la sélection ainsi que la place prioritaire accordée aux mécanismes de l'évolution.

L'analyse des définitions nous donne quelques renseignements sur la stabilité des concepts. Si certains ensembles de définitions convergent (fitness, sélection, par exemple) d'autres montrent des variations importantes. C'est le cas pour adaptation qui est pourtant un concept majeur de l'évolution. Ces éléments questionnent l'enseignement de ces concepts qui ne sont pas complètement stabilisés.

Les définitions nous ont permis également de percevoir un découplage partiel entre sélection et adaptation. La sélection dans notre corpus est davantage associée à la fitness qu'à l'adaptation ce qui va dans le sens d'une vision de l'évolution plus orienté du côté des organismes que de l'environnement.

Nous remarquons également la place secondaire accordée à la dérive génétique qui, bien que présente dans le corpus, n'est pas dans le noyau central. L'écart est même très important entre la sélection et la dérive (un facteur 5). Dans les débats actuels la balance entre ces deux processus est discutée, mais dans notre corpus la sélection l'emporte largement (Saches, 2011).

Les patterns de l'évolution sont discrets dans le paysage des chercheurs et occupent des places périphériques. La quasi absence de pattern « matériels » est remarquable et accentue l'aspect « très » abstrait et théorique de ce paysage.

Cependant la présence, même si elle est au second plan, des éléments qui sont « nouveaux » dans le champ contemporain de l'évolution signe leur assimilation dans la pensée évolutionniste actuelle et la modernité du paysage conceptuel de l'évolution des chercheurs en évolution.

IV. Un entretien avec des chercheurs en évolution

IV. 1. Introduction

A ce stade du travail nous organisons une première rencontre avec 3 chercheurs de notre panel qui vise plusieurs objectifs.

Nous souhaitons d'abord recueillir leurs niveaux d'approbation globale et leurs éventuelles réserves sur les d'items obtenus pour le mot-stimulus « évolution ». Nous travaillons avec eux sur les résultats de la méthode Abric et leur présentons les listes du noyau central et du premier noyau périphérique. Nous leur demandons, pour chaque item, s'ils sont d'accord ou non avec sa présence et si la place accordée leur semble adéquate. Nous leur demandons également s'il manque certains items. Ce travail se fait à l'aide d'un document que les personnes remplissent. La discussion s'engage alors à partir des remarques de chacun. La phase d'échanges nous intéresse particulièrement en ce sens qu'elle est le lieu d'émergence des points d'accord et de dissension et qu'elle permet d'estimer le degré de consensus au sein de la communauté des évolutionnistes.

Ce retour sur les résultats des réseaux d'association des chercheurs en évolution est également pour nous un élément de validation de l'outil utilisé.

IV. 2. Les points saillants de l'entretien

La première partie de l'entretien porte sur la pertinence des concepts mis à jour par la méthode Abric. (Noyau central et premier noyau périphérique). Un consensus global se fait jour. Cependant plusieurs items surprennent soit par leur présence, soit par leur absence, soit par leur place d'importance. Les réactions sont différentes selon les chercheurs. Par exemple, la présence de « Darwin » est choquante pour l'un des chercheurs et pas pour les autres. Cette référence forte à Darwin reste cependant étonnante pour tous et va dans le même sens que notre impression première.

L'item « hasard » donne lieu à une discussion longue. C'est un point délicat notamment par le nombre de définition possible que l'on peut donner à ce terme. Dans le cadre de l'évolution il serait plus pertinent d'utiliser le terme d'imprédictibilité. (Par exemple, les mutations sont prévisibles mais ne sont pas prédictibles.) Stochasticité est également citée comme alternative sémantique. De toute évidence, le terme de « hasard » est jugé trop

« flou » ou polysémique pour refléter correctement les processus aléatoires dans l'évolution. Nous remarquons que le terme « contingence », proposé par nous à ce moment là et utilisé régulièrement par les épistémologues et les scientifiques (De Ricqlès, Gould, Gayon) ne fait pas recette auprès des chercheurs. Le hasard est évoqué dans cette discussion pour les mutations génétiques et pas dans le sens de la contingence historique.

La place « haute » de « sélection » ne surprend pas outre mesure nos chercheurs même s'ils pensent qu'elle est effectivement sur-représentée dans le corpus. Elle est cependant tellement centrale dans la pensée évolutionniste que son hégémonie dans notre corpus est acceptée.

La place de la dérive génétique questionne davantage les chercheurs. Elle est unanimement jugée trop basse. Elle devrait apparaître dans le noyau central beaucoup plus près de sélection. Le couple sélection-dérive est pour eux à équilibrer davantage. L'un des chercheurs fait appel, pour expliquer cette place trop basse, à une forme de « blocage » des chercheurs qui, plus ou moins consciemment, accorderaient plus de valeur à un processus de sélection qu'à un processus de dérive, assimilé plus à un non-événement et donc à un non-résultat.

L'hérédité est elle aussi jugée par les 3 chercheurs à une place trop basse. C'est un concept majeur de l'évolution, qui est pour l'un d'eux peut-être à rapprocher de reproduction. Cependant les définitions sont différentes : l'hérédité fait référence à la transmission des gènes, reproduction fait référence à la formation de descendants par un ou deux individus. « Hérédité » est un concept essentiel dans le sens où un trait doit être héréditaire pour être soumis à la sélection ou à la dérive. Elle est une condition *sine qua non* de la possibilité d'évolution.

Process/pattern

Un des trois chercheurs fait remarquer la faible part de l'aspect historique de l'évolution dans les items présents, ce qui conforte notre première analyse. Pour tous c'est une liste très (trop?) conceptuelle et axée sur les process. Les niveaux d'organisation du vivant sont absents ainsi que certains « objets » biologiques tels que les gènes, les fossiles. L'un deux parle d'une impression d'« algorithme » de l'évolution ce qui rejoint également notre perception d'une liste axée sur les conditions de réalisation de l'évolution et qui correspond

davantage à la structure d'un savoir apodictique.

Il est intéressant de repérer que si la distinction process/pattern est connue et acquise pour nos chercheurs, la catégorisation au cas par cas n'est pas toujours aisée et s'avèrent même délicate pour certains items. Nous retrouvons l'item « adaptation » qui est, selon eux, à la fois un process et un pattern et l'un d'entre eux précise que c'est majoritairement un process quand il est employé dans la communauté. Nous retrouvons ici l'ambivalence de la définition de ce concept que nous avons déjà pointée. Nous observons également, sur la base des définitions recueillies, que cette double casquette n'est pas perçue par tous les chercheurs.

D'autre part, la portée finaliste en tant que process n'est pas évoquée spontanément par nos chercheurs. Cela se comprend dans le sens où pour eux la non-intentionnalité de l'évolution est un implicite, intégré depuis longtemps. Or, dans l'enseignement de l'évolution c'est un écueil important pour les élèves qui eux sont portés intuitivement vers l'intentionnalité de l'évolution et pour qui l'adaptation en est souvent « la preuve ». Des formulations telles que : « La population est adaptée à son environnement. » n'a pas la même signification pour un public d'évolutionnistes que pour un public d'élèves. Il y a là un hiatus important entre le monde de la recherche et celui de l'enseignement.

L'absence de certains items est remarquée : extinction et origine de la vie ou origine commune. En réalité ces items sont présents mais à une fréquence trop faible pour émerger du bruit de fond de notre corpus. Nous pouvons remarquer qu'extinction recouvre à la fois un mécanisme à l'œuvre dans l'évolution et aussi un pattern. En effet plusieurs extinctions se sont produites dans l'histoire de la vie et ce sont des événements historiques récurrents et datés dans l'histoire de la vie. L'origine de la vie est elle clairement un pattern en tant qu'événement fondateur situé historiquement.

IV. 3. Bilan de la rencontre

En résumé un consensus existe pour nos 3 chercheurs sur les items présents dans les noyaux centraux et périphériques qu'ils estiment légitimes.

Notre analyse se trouve en accord avec les chercheurs sur plusieurs points :

La place de Darwin, étonnante dans les 5 premiers items d'importance.

L'aspect très conceptuel et axé sur les process de la liste des items.

La faible part des patterns et de ce qui a trait à l'histoire de la vie.

La faible représentation de la dérive (et des processus aléatoires) par rapport à celle, hégémonique de la sélection.

La place trop basse de l'hérédité.

Cependant, si ces constats font consensus, leurs interprétations varient selon les chercheurs et des approches différentes apparaissent dans leur vision de l'évolution. Deux tendances s'affirment. Pour un des chercheurs, l'aspect historique manque dans ce corpus et il devrait plus apparaître. Pour lui également, Darwin n'a rien à faire dans cette liste. Pour les deux autres chercheurs, le déséquilibre process/pattern n'est pas choquant en soi. Pour eux, c'est la faible place de la dérive qui l'est. Par contre Darwin a sa place dans la liste.

Au cours de ces discussions apparaissent également des variations, voire des divergences sur les définitions de certains concepts.

Hasard : le terme est jugé « embarrassant », d'autres termes plus appropriés comme imprédictibilité, stochasticité sont proposées.

Espèce : la pertinence du concept est discutée mais pas de solution unanime.

Adaptation : process ou pattern ? La discussion ne débouche pas sur une solution commune.

Ces discussions mettent finalement à jour des implicites plus ou moins partagés par l'ensemble des chercheurs. Mais si l'importance de l'origine commune de la vie et la non-intentionnalité de l'évolution sont clairement des thèmes consensuels par nos chercheurs, les échanges concernant l'espèce, la place des fossiles et globalement la prégnance des process et des patterns sont des thèmes moins consensuels.

Conclusion

Les résultats obtenus à partir des réseaux d'association, mis en regard du cadre épistémologique et scientifique que nous mobilisons, et des retours des chercheurs en évolution apportent une « certaine » validité à la méthodologie des réseaux d'association

comme outil d'investigation des représentations d'un milieu donné et nous autorise à l'utiliser auprès des enseignants de SVT, pour lesquels nous n'avons pas de cadre de référence spécifique.

Nous avons mis en évidence chez les chercheurs un paysage conceptuel de l'évolution qui montre une « évolution » d'abord pensée en termes de process, qui s'articulent en premier lieu autour de la sélection naturelle. La forte proportion de process dans ce paysage lui donne un aspect immatériel et intemporel. Ce qui relève de l'histoire du vivant et de sa reconstitution (patterns « historiques ») est présent dans ce paysage mais dans un deuxième cercle. L'absence d'objets biologiques dans ce paysage (patterns « matériels ») accentue l'aspect abstrait du paysage.

La place accordée à la phylogénie dans ce paysage est un peu paradoxale : la phylogénie, discipline en expansion si l'on se fie à l'évolution du nombre de publications actuelles, n'émerge qu'au niveau du 1er noyau périphérique pour le mot-stimulus « évolution » bien qu'elle soit plébiscitée pour le mot-stimulus « parenté » ce qui confirme sa prégnance dans la représentation des chercheurs.

La phylogénie en tant que domaine de recherche a pour objectif la reconstitution du réseau généalogie du vivant depuis l'origine commune à travers l'étude des liens de parenté entre les êtres vivants. Ses objets d'étude sont du côté des patterns de l'évolution et sa méthodologie mobilise celles des sciences historiques. Nous pouvons nous demander si la position « périphérique » de cette discipline dans le paysage de notre corpus n'est pas due à cette nature scientifique qui n'a pas toujours été considérée aussi « scientifique » que les sciences fonctionnalistes. Le milieu des systématiciens est d'ailleurs traversé par des questions épistémologiques conséquentes sur la nature des méthodes scientifiques utilisées et les savoirs produits dans ce domaine. Plusieurs numéros de la revue *Biosystema* exposent la teneur de ces débats épistémologiques très intéressants (notamment le numéro 24 édité en 2005). Ce que disent ces discussions internes c'est que la systématique et la phylogénie sont des champs scientifiques dont l'épistémologie ou les épistémologies sont discutées et restent à stabiliser (Fitzburgh, 2005 ; Deleporte, Lecointre, 2005).

Cet état « d'instabilité épistémologique » questionne les conditions d'entrée de la phylogénie dans les programmes en 2001. Quelle épistémologie a été « retenue » par les programmeurs ? Comment les enseignants se sont emparés de ce champ scientifique ?

Cette question fait partie d'une interrogation plus large sur la prise en compte de l'épistémologie de l'évolution dans le champ scolaire depuis que des objectifs de connaissance sur la nature des sciences sont inscrits dans les prescriptions officielles de l'enseignement des sciences. Comme nous l'avons vu, les sciences de l'évolution offrent une « palette » épistémologique allant des modalités des sciences historiques à celles des sciences fonctionnalistes. Elles sont donc de bons candidats pour aborder des questions épistémologiques importantes qui ont trait notamment aux questions de la nature et de la validité des savoirs scientifiques, et des modes de raisonnements en science.

Nous poursuivons donc notre recherche dans l'objectif de mettre à jour l'épistémologie des sciences de l'évolution telle qu'elle est présentée et mise en œuvre dans le monde scolaire. Nous présentons dans la partie suivante l'étude des réseaux d'association obtenus auprès des enseignants. Nous étudions également les instructions officielles (programmes scolaires et ressources pour les enseignants) en tant qu'elles sont l'outil principal de travail contractuel des enseignants et pensons qu'elles nourrissent leurs représentations.

Partie 3 : Les sciences de l'évolution dans le monde scolaire

Introduction

L'évolution est un objet scientifique complexe et un objet d'enseignement dont l'importance est rappelée dans le curriculum prescrit¹⁶. Les programmes actuels du secondaire mettent l'accent sur la nécessité de faire acquérir aux élèves une culture scientifique c'est-à-dire à la fois des connaissances scientifiques mais également des connaissances épistémologiques. Ces objectifs sont exprimés dans le préambule des programmes scolaires commun aux trois années du lycée dans la filière scientifique : *«La discipline vise trois objectifs essentiels : « ...aider à la construction d'une culture scientifique commune fondée sur des connaissances...et des modes de raisonnements propres aux sciences. » et « Faire comprendre ce qu'est le savoir scientifique, son mode de construction et son évolution au cours de l'histoire des sciences .»*¹⁷

Nous avons expliqué qu'un nombre important d'enseignants de SVT expriment des difficultés devant cet enseignement. Nous postulons qu'une partie de ces problèmes est liée à la prise en compte partielle de l'épistémologie complexe des sciences de l'évolution et spécialement celle des sciences historiques. Pour approfondir cette piste nous avons, dans un premier temps, mené une enquête similaire à celle que nous avons conduite avec des chercheurs en sciences de l'évolution. Nous avons ainsi accès à certains éléments des représentations des enseignants sur les sciences de l'évolution. Nous avons ensuite étudié l'épistémologie qui sous-tend les textes officiels en tant qu'elle donne la ligne directrice des pratiques d'enseignement auxquelles les enseignants se réfèrent en premier lieu. Les résultats de ces analyses nous amèneront à envisager des conséquences en terme d'activité d'enseignement que nous tenterons d'objectiver par une étude de fiches d'activités élaborées par des enseignants de SVT sur le thème de la parenté entre les êtres vivants.

16 Le curriculum prescrit correspond ici à l'ensemble des textes programmatiques de l'enseignement secondaire (préambule, programmes) élaborés par l'inspection générale des SVT.

17 Introduction générale des programmes du lycée

Chapitre 1 : Le « paysage conceptuel » de l'évolution chez des enseignants de SVT

Introduction

Nous conduisons la collecte des réseaux d'association des enseignants selon la même méthodologie que celle des chercheurs. La comparaison des résultats des deux corpus permettra d'évaluer les bases communes entre les deux communautés mais aussi les décalages et les nuances susceptibles d'apporter des éléments d'explication à notre question de recherche sur l'épistémologie mobilisée par les enseignants dans l'enseignement de l'évolution. Nous menons l'analyse avec les objectifs suivants :

- Connaître les éléments saillants du paysage conceptuel de l'évolution des enseignants de SVT et repérer si les concepts mobilisés par les enseignants sont similaires à ceux mobilisés par les chercheurs à la fois dans leur formulation et dans leur définition.
- Objectiver la part respective des process et des patterns qui balisent chacun des paysages en temps qu'ils sont les objets scientifiques des sciences fonctionnalistes ou historiques.
- Estimer le degré de conceptualisation des items proposés par les enseignants et discuter de la nature du savoir scientifique qui les sous-tend.

Nous nous attendons à trouver un taux de recouvrement des deux paysages conceptuels élevé avec moins de termes spécialisés chez les enseignants. Les enseignants SVT ont un bagage universitaire disciplinaire conséquent mais nécessairement généraliste et ils n'ont pas eu, en général, de formation à la recherche dans les disciplines qu'ils enseignent (biologie et géologie). Nous pouvons donc légitimement penser que les chercheurs mobilisent des concepts plus spécialisés que les enseignants à qui on ne demande pas d'être des spécialistes de chaque domaine de l'évolution. Néanmoins les enseignants doivent maîtriser les savoirs scientifiques de leur discipline qui s'énonce à travers des concepts fédérateurs.

Nos mots-stimulus (et ils ont été choisis dans ce sens) sont des concepts suffisamment fédérateurs et présents dans les programmes scolaires pour que les enseignants en

maîtrisent les contenus et notamment par rapport au mot-stimulus « parenté » qui est enseignée aujourd'hui dans le cadre de la classification phylogénétique, introduite de manière conséquente dans les programmes en 2001¹⁸. Cette entrée dans les programmes a donné lieu à des formations scientifiques nationales et nécessaires pour cet objet d'enseignement qui était nouveau pour un grand nombre de professeurs. Un ouvrage spécialisé a été édité en direction notamment des enseignants (Lecointre, Le Guyader, 2001). Au sein de l'INRP (IFE actuel), un groupe de travail a conçu un logiciel nommé « Phylogène » qui est utilisé aujourd'hui dans la majorité des activités sur la parenté. Dans ces conditions, nous pouvons penser que les enseignants ont aujourd'hui un bagage scientifique solide sur ce champ scientifique. En ce qui concerne les mots-stimulus « évolution » et « sélection », leurs présences dans les programmes sont suffisamment anciennes pour que nous puissions estimer que les enseignants en ont une maîtrise suffisante.

Les résultats obtenus montrent cependant des différences plus importantes que prévues entre les paysages des chercheurs et des enseignants.

I. Les réseaux d'association des enseignants

I. 1. Méthodologie

Nous avons récolté des réseaux d'association auprès d'enseignants de SVT en utilisant la même méthodologie que dans le milieu scientifique et nous avons appliqué le même traitement des données :

- la recherche du noyau central et du noyau périphérique
- le classement par rang maximal atteint (de 1 à 5)
- le calcul des valeurs d'importance pour chaque item

I. 2. Corpus

I. 2. 1. Collecte des réseaux

La réalisation des réseaux d'association a été proposée à des enseignants dans différents contextes :

18 B.O. N°5 30 août 2001, hors-série

- Journées RPP (Réseau Pédagogique de Proximité) dans l'Académie de Grenoble en 2013 (23 réseaux récoltés)
- Journée de formation sur l'évolution à l'ESPE de Grenoble en 2013 (19 réseaux récoltés)
- Journées Nationales de l'APBG (Association des Professeurs de Biologie et de Géologie) en 2012 (24 réseaux récoltés)
- Échanges individuels avec des enseignants volontaires. (de 2012 à 2013) : (2 réseaux récoltés)

Renseignements administratifs et professionnels

Les renseignements administratifs et professionnels n'ont pas toujours été fournis (ils étaient pour certains facultatifs) et nous avons obtenu ces données pour 45 enseignants. Les données proviennent majoritairement d'enseignants de l'Académie de Grenoble mais également des Académies de Besançon, Dijon, Limoges, Lyon, Nice et Strasbourg pour celles qui sont identifiées. Parmi eux 7 enseignants ont des activités associées (formateur, groupe de travail à l'IFE,...).

1. 2. 2. Données quantitatives

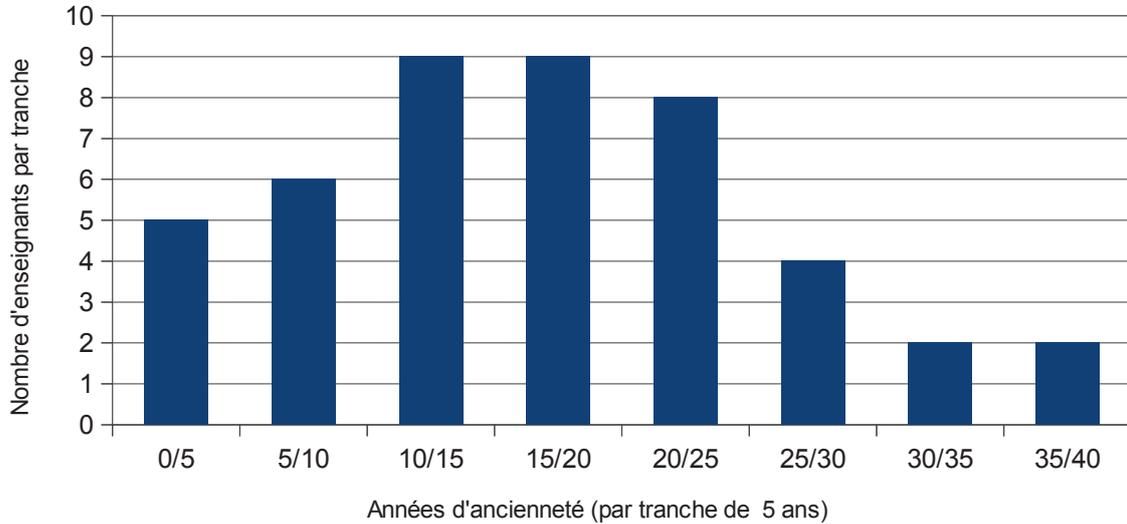
67 questionnaires ont été récoltés dont 54 sont complets (c'est-à-dire dans lesquels les 3 mots-stimulus sont traités)

Mot-stimulus	Nombre de questionnaires
Évolution	67
Sélection	54
Parenté	57

Tableau n°25 : nombre de questionnaires complets obtenus pour chaque mot-stimulus

L'ancienneté des enseignants

Répartition des enseignants en fonction de leur ancienneté



La répartition par ancienneté dans la profession est relativement homogène avec une représentation importante d'enseignants expérimentés.

Répartition collège/lycée

Type d'établissement	Nombre d'enseignants
Lycée	27
Collège	14
Collège/Lycée	4
Total	45

Tableau n°26 : répartition des enseignants sondés par type d'établissement

Commentaire

Ces données administratives et professionnelles, sans prétendre à une représentativité idéale du corps enseignant, montrent cependant qu'aucun biais important n'apparaît dans ce panel: il regroupe des enseignants de SVT novices et expérimentés de collège et de lycée, travaillant dans différentes académies.

II. Résultats

Nous présentons ici uniquement les résultats, sous forme de tableaux, de la méthode « Abric » qui permet d'identifier les noyaux centraux et périphériques pour les 3 mots-stimulus. Nous présentons également le tableau des valeurs d'importance qui est utilisé dans l'analyse de la pondération des process et des patterns. Les autres documents (regroupements effectués pour homogénéiser les items, graphiques) sont présentés en annexes.

II. 1. Noyaux centraux et périphériques

Nous présentons sur les 3 pages suivantes les résultats sous forme de tableaux des noyaux centraux et périphériques pour chacun des mots-stimulus. Dans chaque groupe les items sont rangés par fréquence décroissante.

Tableau n° 27 : Résultats pour le mot-stimulus « évolution »

Nombre d'items total : 313. La fréquence moyenne des items : 1,09.

Tableau n° 28 : Résultats pour le mot-stimulus « sélection naturelle »

Nombre d'items total : 268. La fréquence moyenne des items : 1,12.

Tableau n°29 : Résultats pour le mot-stimulus « parenté ».

Nombre d'items total : 281. La fréquence moyenne des items est : 1,41.

Mot-stimulus « évolution »	Rang <= 3	Rang > 3
Fq >= Fq moyenne (1,1)	<p>Noyau central sélection naturelle Darwin mutation changement innovation phylogénie gène parenté arbre phylogénétique temps êtres vivants</p>	<p>1er noyau périphérique espèce diversité dérive génétique ancêtre commun fossiles adaptation spéciation vie théorie de l'évolution population crise biologique hasard</p>
Fq < Fq moyenne (1,1)	<p>Éléments contrastés complexité place de l'homme polymorphisme succession histoire apparition duplication actualisme avantage évolutif comparaison contraintes du milieu difficulté d'expression dinosaures nouveau évolutive allèles caractère ères mécanismes ADN contingence hominidés Lamarck variation caractère homologue caractères nouveaux cuvier dessein intelligent-gènes architectes différences équilibres ponctuels homme idées reçues progressive religion terre transfert de gènes unité variabilité/diversité</p>	<p>2nd noyau périphérique disparition origine commune fréquence allélique bipédie buissonnante/non linéaire classer communication état dérivé gènes homéotiques girafe à long cou hérédité interfertilité isolement géographique milieu paysage reproduction sexuée tout ce qui peut-être, est. transposition une des caractéristiques de la vie génétique/épigénétique équilibre du vivant avec le milieu évolution de la fréquence allélique famille multigénique ontogenèse perfectionnement dégénérescence polyallélisme polyploïdisation/hybridation probabilité régression succès reproductif taux de survie différentiel</p>

Tableau n°27 : les groupes selon Abric pour le mot-stimulus « évolution »

Mot-stimulus « sélection »	Rang <= 3	Rang > 3
Fq >= Fq moyenne (1,12)	<p>Noyau central Darwin mutation pression de sélection avantage reproductif adaptation environnement caractère avantageux évolution population survie conditions du milieu prédation gènes</p>	<p>1er noyau périphérique allèles reproduction espèces hasard phalène du bouleau spéciation individu taux de survie différentiel compétition dérive génétique innovation temps</p>
Fq < Fq moyenne (1,12)	<p>Éléments contrastés tri extinction élimination biodiversité polyallélisme caractères couperet diversité allélique modifications environnementales polymorphisme variabilité caractère génétique changement de l'environnement contraintes du milieu crise désavantage dodo facteurs de sélection facteurs environnementaux mort nouvelle espèce relations théorie variation augmente du % de l'allèle favorable contexte mendel mort/survie rôle de l'environnement struggle for life subsister</p>	<p>2nd noyau périphérique fréquence allélique isolement reproductif mimétisme phénotype génétique adn augmentation de certains phénotypes darwinisme drosophiles explication de l'adaptation galapagos gènes du développement interactions entre espèces meilleure descendance nécessité sélection artificielle sélection sexuelle bactérie camouflage chance de reproduction déterminisme génétique dimorphisme sexuel dirigée extinction de certaines mutations idée reçue isolement géographique lien entre histoire de la vie et de la terre logiciel évolution loi du plus fort nourriture proie propagation d'un caractère</p>

Tableau n°28: les groupes selon Abric pour le mot-stimulus « sélection naturelle »

Mot-stimulus «Parenté »	Rang <= 3	Rang > 3
Fq >= Fq moyenne (1,41)	<p>Noyau central ancêtre commun caractère commun phylogénie caractères classification ressemblance origine commune gènes espèce adn lien homologie phylogène reproduction</p>	<p>1er noyau périphérique arbre phylogénétique groupes emboîtés évolution mutation attributs taxon innovation état de caractère</p>
Fq < Fq moyenne (1,41)	<p>Éléments contrastés partage des caractères dérivés unité du vivant chromosomes descendants hérédité organes homologues transmission détermination/découverte diversité/biodiversité plus proche de population anagène histoire du vivant hominidés cellules degré diversification étroite extra groupe famille multigénique généalogie monophylétique nœud père et mère remise en cause reptiles spéciation vie</p>	<p>2nd noyau périphérique famille cladistique fossile gamètes génération Lecointre molécules homologues paraphylétique parents place de fossiles relations séquence taxinomie temps données moléculaires enfants filiation insectes Lecointre/Le Guyader lignée humaine parenté à l'échelle moléculaire qui est plus proche de qui</p>

Tableau n°25 : les groupes selon « Abric » obtenus à partir de la liste d'importance globale pour l'item « parenté »

II. 2. Les valeurs d'importance

La valeur d'importance est le produit de la fréquence moyenne d'un item et de son rang moyen. Nous retenons les items qui sont au-dessus de la valeur d'importance moyenne pour chaque mot-stimulus.

« EVOLUTION »		« SELECTION »		« PARENTE »	
Valeur moyenne : 3,31		Valeur moyenne : 3,35		Valeur moyenne : 4,26	
sélection naturelle	28,75	Darwin	28,73	ancêtre commun	44,13
Darwin	27,16	mutation	21,64	caractère commun	28,11
mutation	20,45	pression de sélection	21,64	arbre phylogénétique	27,76
changement	15,02	environnement	14,93	phylogénie	22,06
diversité	14,70	avantage reproductif	14,18	caractères	16,01
espèce	14,70	adaptation	13,43	classification	9,25
dérive génétique	9,90	évolution	10,82	ressemblance	8,90
innovation	9,58	population	10,82	évolution	8,54
phylogénie	9,27	caractère avantageux	10,07	groupes emboîtés	7,83
ancêtre commun	8,31	reproduction	8,21	origine commune	7,83
gène	8,31	allèles	8,21	gènes	7,47
fossiles	7,99	survie	6,72	espèce	6,76
adaptation	7,35	conditions du milieu	5,60	adn	5,69
parenté	6,71	prédation	4,85	mutation	5,69
arbre phylogénétique	4,79	espèces	4,85	lien	5,34
temps	4,79	hasard	4,85	partage des caractères dérivés	4,98
êtres vivants	4,79	phalène du bouleau	4,48	homologie	4,98
spéciation	4,47	spéciation	4,10	attributs	4,63
vie	4,47	gènes	3,73	taxon	4,63
population	3,51	individu	3,73	phylogène	4,27
		tri	3,73	reproduction	4,27

Tableau n°30 : les valeurs d'importance des items proposés par les enseignants pour les 3 mots-stimulus

III. Analyses

Introduction

Pour chaque mot-stimulus la première partie de l'analyse consiste à comparer les noyaux centraux et périphériques des chercheurs et des enseignants. Pour conduire cette comparaison nous regroupons les items selon les catégories que nous avons établies à partir des résultats des chercheurs et qui nous permettent d'orienter l'analyse dans les directions choisies : les conditions de possibilité, les process de l'évolution, les patterns (« historiques » et « matériels »), le cadre spatio-temporel.

Nous analysons ensuite ces noyaux en regardant plus précisément la proportion des process et des patterns (patterns « historiques » et patterns « matériels ») de l'évolution ce qui nous donne des indications sur l'importance accordée dans les représentations des enseignants aux sciences historiques et fonctionnalistes.

Pour terminer l'analyse, nous comparons les définitions des chercheurs et des enseignants et discutons de la nature conceptuelle ou non des items mobilisés par les enseignants.

III. 1. Comparaison des noyaux centraux et périphériques

III. 1. 1. Mot-stimulus « évolution »

Un point de concordance entre les deux paysages est la place de la sélection dans le classement. Comme chez les chercheurs, c'est l'item « sélection » qui arrive en tête pour le mot-stimulus « évolution » chez les enseignants et il est suivi de très près par « Darwin ». Les enseignants utilisent davantage le vocable « sélection naturelle » que « sélection ». Elle est cependant moins hégémonique chez les enseignants mais « Darwin » est mieux placé que chez les chercheurs. Pour les autres items les différences l'emportent sur les ressemblances. Nous présentons les noyaux centraux et périphériques des enseignants et des chercheurs dans le tableau ci-dessous.

Noyau central chercheurs	Noyau central enseignants	Noyau périphérique chercheurs	Noyau périphérique enseignants
sélection	sélection naturelle	mutation	espèce
adaptation	Darwin	spéciation	diversité
changement	mutation	phylogénie	dérive génétique
variation	changement	dérive génétique	ancêtre commun
diversité	innovation	fitness	fossiles
hérédité	phylogénie	environnement	adaptation
Darwin	gène	reproduction	spéciation
hasard	parenté	temps	vie
histoire	arbre phylogénétique		théorie de l'évolution
	temps		population
	êtres vivants		crise biologique
			hasard
9	11	8	12

Tableau n°31 : comparaison des noyaux centraux et périphériques des enseignants et des chercheurs. En gras : les items spécifiques des enseignants (noyaux confondus).

Données quantitatives sur les items des deux corpus

	Items communs	Items spécifiques aux enseignants	Items spécifiques aux chercheurs
Noyaux centraux	3	8	6
Noyaux périphériques	2	10	6
Noyaux confondus	11	12	6

Tableau n°32: nombre d'items communs et différents entre les corpus des chercheurs et des enseignants

Nous remarquons que les items communs sont minoritaires pour chacun des noyaux considérés. Nous tempérons cependant ces différences en rappelant que certains items absents des noyaux centraux et périphériques des enseignants par rapport à ceux des chercheurs sont présents dans les noyaux secondaires (éléments contrastés et second noyau périphérique) qui regroupent les items de faible fréquence et/ou de faible rang.

Les catégories pour le mot-stimulus « évolution » des enseignants et des chercheurs

Nous comparons maintenant les deux corpus en classant les items en fonction des catégories que nous avons définies plus haut.

Mot-stimulus « évolution »	Chercheurs	Enseignants
conditions de possibilité	variation, hérédité, reproduction	
cadre spatio-temporel	environnement, temps	temps
process	sélection, adaptation, mutation, spéciation, dérive génétique, variation, reproduction, hérédité	sélection naturelle, adaptation, mutation, spéciation, dérive génétique, innovation
patterns « historiques »	diversité, histoire, phylogénie	phylogénie, arbre phylogénétique, parenté, diversité, crise biologique, ancêtre commun, espèce, population
patterns « matériels »		gène, êtres vivants, fossiles

Tableau n°33 : comparaison en fonction des catégories d'analyses pour le mot stimulus « évolution »

commentaires

Les noyaux centraux et périphériques des enseignants montrent des différences importantes, avec ceux des chercheurs, sur les conditions de possibilité de l'évolution. « Variation », « hérédité » et « reproduction » n'émergent pas chez les enseignants en réponse au mot-stimulus « évolution ». Nous avons vérifié que les définitions des items « innovation », « mutation » ou diversité » ne recouvraient pas de manière implicite le concept de « variation ». L'item « innovation » n'a pas ce sens au regard des définitions fournies. Il est défini dans le cadre de la phylogénie c'est-à-dire d'une innovation évolutive apparue chez un ancêtre commun et signant le passage d'un état ancestral à un état dérivé. Les définitions de l'item « mutation » sont très majoritairement descriptives. 31 définitions sur 36 énoncent globalement qu'une mutation est une « modification de l'ADN ». Une seule fait référence au lien avec l'évolution : « modification de l'ADN. Moteur de l'évolution » La diversité est définie par les enseignants comme les différences constatées entre les individus, les espèces ou les écosystèmes. Il n'y a pas de définition qui pourrait assimiler la diversité à la variation initiale dans une population. L'information essentielle que nous retenons est que le mot-stimulus « évolution » n'a pas évoqué chez les enseignants sondés les conditions de possibilité du processus évolutif au contraire des chercheurs qui les ont placées majoritairement en tête de leurs listes d'importance.

Le cadre spatio-temporel de l'évolution

Les items du paysage conceptuel de l'évolution des enseignants font davantage

référence à la temporalité et à l'histoire que celui des chercheurs par le biais de la présence d'items du champ de la phylogénie (ancêtre commun, parenté, phylogénie) qui sont absents chez les chercheurs ainsi que par la place, dans le noyau central, de l'item « temps » (Il est à la fin du noyau périphérique chez les chercheurs). Par contre l'item « environnement » est absent.

Les process de l'évolution

C'est la catégorie la plus ressemblante entre les deux corpus. « Sélection naturelle » est l'item qui arrive largement en tête chez les enseignants et chez les chercheurs même si sa fréquence est moins élevée que dans le corpus des chercheurs. Les autres process sont similaires.

Les patterns historiques

Les patterns « historiques » sont plus nombreux chez les enseignants et tous en lien avec la classification phylogénétique. L'item « histoire » est absent.

Les patterns matériels

Les « patterns matériels » c'est-à-dire les entités organiques actuelles et acteurs de l'évolution sont bien représentés dans les noyaux des enseignants alors qu'ils sont absents dans ceux des chercheurs : « espèce » « population » « êtres vivants ». Nous pouvons ajouter des items se référant à des organismes passés hypothétiques ou non : « ancêtre commun » « fossiles ». Nous pointons ici une seconde différence importante entre les représentations des chercheurs et celles des enseignants vis à vis de ces « observables » de l'évolution.

Process/pattern

Nous utilisons ici la liste des items des deux noyaux centraux et périphériques ainsi que les valeurs d'importance qui indique la pondération des items. (La valeur d'importance est le produit du rang moyen d'un item (entre 1 et 5) et de sa fréquence). Nous recensons les items qui relèvent des process et des patterns en nous appuyant sur notre cadre épistémologique (défini en partie 1).

Mot-stimulus “évolution”	process	pattern “historique”	pattern “matériel”	autre	valeur d'importance process	valeur d'importance pattern
Noyau central						
sélection naturelle	X				28,8	
Darwin				X		
mutation	X				20,5	
changement	X				15	
innovation	X				9,6	
phylogénie		X				9,3
gène			X			8,3
parenté		X				6,7
arbre phylogénétique		X				4,8
temps				X		
êtres vivants			X			4,8
Noyau périphérique						
espèce		X				14,7
diversité			X			14,7
dérive génétique	X				9,9	
ancêtre commun		X				8,3
fossiles			X			8
adaptation	X				7,4	
spéciation	X				4,5	
vie				X		4,5
théorie de l'évolution				X		
population		X				3,5
crise biologique		X				
hasard				X		
Total	7	7	4	5	95,7	87,6

Tableau n°34 : répartition process/patterns pour le mot-stimulus « évolution » chez les enseignants

7 process et 11 patterns sur 23 items. La proportion s'inverse par rapport aux chercheurs mais en terme de valeur d'importance ce sont les process qui arrivent en tête. Les process principaux sont « sélection », « mutation », « dérive génétique » (un peu mieux placée que chez les chercheurs).

Nous notons que l'item « adaptation » n'apparaît pas dans le noyau central des enseignants. Les définitions des enseignants la présentent plutôt comme un pattern de l'évolution.

Les patterns présents appartiennent aux deux catégories que nous avons définies dans notre cadre épistémologique : des patterns « historiques » et des patterns « matériels ».

Les patterns matériels sont spécifiques des résultats des enseignants dans les noyaux centraux et périphériques. Nous ne les retrouvons pas dans ceux des chercheurs. Cette spécificité est importante : associée à une proportion de « pattern historique » élevée ainsi qu'à l'item « temps » elle donne d'emblée au paysage conceptuel de l'évolution des enseignants un aspect incarné (objets biologiques concrets) et plus ancré dans un temps historique qui contraste avec l'aspect immatériel et intemporel du paysage conceptuel des chercheurs.

III. 1. 2. Mot-stimulus « sélection »

Noyau central chercheurs	Noyau central enseignants	Noyau périphérique chercheurs	Noyau périphérique enseignants
fitness	Darwin	compétition	allèles
adaptation	mutation	survie	reproduction
variation	pression de sélection	héritabilité	espèces
environnement	avantage reproductif	évolution	hasard
mutation	adaptation	dérive génétique	phalène du bouleau
reproduction	environnement	sélection sexuelle	spéciation
pression	caractère avantageux		individu
Darwin	évolution		fitness
tri	population		compétition
population	survie		dérive génétique
phénotype	conditions du milieu		innovation
	prédation		temps
	gènes		
11	13	6	12

Tableau n°35 : comparaison entre les noyaux centraux et périphériques des enseignants et des chercheurs. En gras, les items spécifiques des enseignants (noyaux confondus).

	Items communs	Items spécifiques aux enseignants	Items spécifiques aux chercheurs
Noyaux centraux	6	8	5
Noyaux périphériques	1	11	5
Noyaux confondus	12	15	7

Tableau n°36: nombre d'items communs et différents entre les corpus des chercheurs et des enseignants

Les catégories pour le mot-stimulus « sélection » chez les enseignants et les chercheurs

Mot-stimulus « sélection »	Chercheurs	Enseignants
conditions de possibilité	variation, reproduction, hérédité	reproduction
cadre spatio-temporel	environnement	environnement, temps, conditions du milieu
process	adaptation, mutation, compétition, dérive génétique, sélection sexuelle, variation, reproduction	mutation, adaptation, prédation, spéciation, compétition, dérive génétique, innovation, reproduction
patterns « historiques »	population	espèces, population
patterns « matériels »	phénotype	caractère avantageux, gènes, allèles, phalène du bouleau, individu

Tableau n° 37 : comparaison en fonction des catégories d'analyses pour le mot stimulus « sélection naturelle »

Commentaires

Les enseignants n'ont pas mobilisé l'ensemble des conditions de possibilité de la sélection et seule la reproduction est citée (dans le noyau périphérique). Mais la « variation » et l'« hérédité » n'émergent pas dans les noyaux des enseignants.

Pour les catégories suivantes, le cadre spatio-temporel, les process, et les patterns historiques nous ne remarquons pas de différences notables entre les deux corpus. Par contre, pour la catégorie des patterns « matériels » nous pointons un déséquilibre important en faveur des enseignants qui ont davantage cité des objets matériels biologiques que les chercheurs. Nous notons spécialement la présence d'un item « hautement » spécifique au monde enseignant : « phalène du bouleau » qui émerge dans le noyau périphérique. C'est l'exemple pédagogique classique utilisé pour les activités scolaires sur la sélection

naturelle.

Process/pattern

Le tableau n° 38 est présenté sur la page suivante pour des raisons de format.

Commentaires

Chez les enseignants l'écart entre process et pattern pour le mot-stimulus « sélection » est moins important que chez les chercheurs. Nous notons également la présence de 5 patterns « matériels » spécifiques des résultats des enseignants (allèles, gènes, individu, phalène du bouleau, caractère avantageux) et absents des noyaux des chercheurs.

Mot-stimulus « sélection »	process	pattern « historique »	pattern « matériel »	autre	valeur d'importance process	valeur d'importance pattern
Noyau central						
Darwin				X		
mutation	X				21,6	
pression de sélection				X		
avantage reproductif				X		
adaptation	X				13,4	
environnement				X		
caractère avantageux			X			
évolution		X				10,8
population		X				10,8
survie				X		
conditions du milieu				X		
prédation	X				4,8	
gènes			X			3,7
Noyau périphérique						
allèles			X			8,2
reproduction	X				8,2	
espèces		X				4,8
hasard				X		
phalène du bouleau			X			
spéciation	X				4,1	
individu			X			3,7
taux de survie différentiel				X		
compétition	X				2,6	
dérive génétique	X				2,6	
innovation	X				2,6	
temps				X		
Total	8	3	5	9	59,9	42

Tableau n° 38 : répartition process/patterns pour le mot-stimulus « sélection naturelle » chez les enseignants

III. 1. 3. Mot-stimulus « parenté »

Noyau central chercheurs	Noyau central enseignants	Noyau périphérique chercheurs	Noyau périphérique enseignants
phylogénie	ancêtre commun	homologie	arbre phylogénétique
ancêtre commun	caractère commun	similarité	groupes emboîtés
reproduction	phylogénie	origine commune	évolution
groupe monophylétique	caractères	consanguinité	mutation
évolution	classification	sélection de parentèle	attributs
descendance	ressemblance	caractère	taxon
transmission	origine commune	altruisme	innovation
espèce	gènes	mutation	état de caractère
arbre phylogénétique	espèce	diversité	
lien phylogénétique	ADN		
hérédité	lien		
famille	homologie		
ADN	phylogène		
gène	reproduction		
spéciation			
société			
16	14	9	8

Tableau n°39 : comparaison entre les noyaux centraux et périphériques des enseignants et des chercheurs. En gras, les items spécifiques aux enseignants (noyaux confondus).

	Items communs	Items spécifiques aux enseignants	Items spécifiques aux chercheurs
Noyaux centraux	7	7	9
Noyaux périphériques	1	7	8
Noyaux confondus	13	9	12

Tableau n°40 : nombre d'items communs et différents entre les corpus des chercheurs et des enseignants

Les catégories pour le mot-stimulus « parenté » chez les enseignants et les chercheurs

Mot-stimulus « parenté »	Chercheurs	Enseignants
conditions de possibilité	reproduction, descendance, transmission, hérédité, origine commune	origine commune, reproduction,
cadre spatio-temporel		
process	spéciation, mutation, reproduction, transmission, hérédité	mutation, innovation, reproduction
patterns « historiques »	phylogénie, groupe phylogénétique, arbre phylogénétique, lien phylogénétique, ancêtre commun, espèce, origine commune	ancêtre commun, phylogénie, arbre phylogénétique, groupes emboîtés, espèce, taxon, origine commune
patterns « matériels »	famille, ADN, gène, société	caractère commun, caractères, gènes, ADN, attributs, état de caractère.

Tableau n° 41 : comparaison en fonction des catégories d'analyses pour le mot stimulus « parenté »

Commentaires

Les conditions de possibilité de la parenté sont pour certaines citées par les enseignants. L'origine commune et la reproduction sont présentes dans les deux corpus mais l'hérédité n'est pas citée par les enseignants. Chez les chercheurs nous trouvons des items qui consolident les conditions de possibilité de la parenté : « descendance » et « transmission » que nous ne trouvons pas chez les enseignants. Cependant l'origine commune est mieux placée dans les résultats des enseignants que dans ceux des chercheurs.

Rappelons que l'existence de la parenté entre les êtres vivants est conditionnée et donc argumentée par ces conditions de possibilité : c'est parce qu'il y a origine commune et unique, puis reproduction et transmission des informations génétiques que nous pouvons dire que les êtres vivants sont apparentés.

Les patterns « matériels »

Pour un mot-stimulus qui est un pattern de l'évolution, nous nous attendions à un nombre plus important de patterns. C'est le cas dans les deux corpus. Mais, là aussi, nous obtenons davantage de patterns « matériels » et en meilleure position chez les enseignants

que chez les chercheurs.

Plus globalement les items cités dans les deux corpus se réfèrent pour un grand nombre d'entre eux à la systématique phylogénétique et à aucune autre ce qui signale au passage l'assimilation complète de l'approche phylogénétique dans le monde enseignant. Notons cependant la présence de l'item « Phylogène » dans le noyau central des enseignants. Cet outil élaboré par l'INRP (IFE aujourd'hui) est le principal logiciel utilisé pour élaborer des arbres phylogénétiques ou des groupes emboîtés dans le secondaire. Nous reviendrons plus tard sur les implications de ce logiciel sur les pratiques enseignantes mais nous relevons ici sa place dans le noyau central des enseignants.

Process/pattern

Le tableau n° 42 est présenté sur la page suivante pour des raisons de format.

commentaires

Une liste d'items riche en patterns comme celle des chercheurs mais surtout riche en patterns « matériels » qui donnent aussi à ces résultats un aspect plus matériel que ceux des chercheurs avec une place particulière accordée aux caractères (et attributs) des organismes qui sont les « observables » de la parenté. « Caractères » et « caractères communs » sont ainsi en seconde et quatrième position dans le noyau central alors que chez les chercheurs seul l'item « caractère » est présent et dans le 1er noyau périphérique.

Mot-stimulus « parenté »	process	pattern « historique »	pattern « matériel »	autre	valeur d'importance process	valeur d'importance pattern
Noyau central						
ancêtre commun		X				44,1
caractère commun			X			28,1
phylogénie		X				22
caractères			X			16
classification		X				9,2
ressemblance				X		
origine commune		X				7,8
gènes			X			7,5
espèce		X				6,7
adn			X			5,7
lien		X				5,3
homologie				X		5
phylogène				X		4,3
reproduction	X				4,3	
Noyau périphérique						
arbre phylogénétique		X				27,8
groupes emboîtés		X				7,8
évolution	X	X			8,5	8,5
mutation	X				5,7	
attributs			X			4,6
taxon		X				4,6
innovation	X				4,3	
état de caractère			X			2,8
Total	3	10	6	3	22,8	217,8

Tableau n°42 : répartition process/patterns pour la mot-stimulus « parenté » chez les enseignants

III. 2. Comparaison des définitions des chercheurs et des enseignants

Nous observons que les définitions des chercheurs diffèrent de celles des enseignants sur certains points. Les définitions des deux groupes ont en commun l'aspect sémantique du signifiant mais des éléments supplémentaires apparaissent fréquemment dans les définitions des chercheurs. Dans ce groupe les définitions sont élargies dans le sens où elles présentent des liens explicatifs vers d'autres items et également des extensions par rapport au champ d'application de l'item considéré. Cette mise en réseau des concepts au sein des définitions rejoint un des éléments importants de la définition d'un concept scientifique que nous avons développé dans notre cadre épistémologique du chapitre 1. Cette dimension « relationnelle » est absente de la majorité des définitions des enseignants.

Pour affiner cette première impression nous avons analysé les définitions de 3 items dont l'occurrence est élevée chez les chercheurs et chez les enseignants. Nous avons retenu les items suivants :

Item retenu	Nombre de définition des enseignants	Nombre de définition des chercheurs
mutation	35	31
sélection	21	36
dérive	11	12

Tableau n° 43 : nombre de définitions des items retenus pour la comparaison chercheurs/enseignants

Les définitions de l'item « mutation »

Définitions des enseignants

26/35 définitions décrivent une mutation en terme d'événement moléculaire affectant l'ADN. Elles sont de type : « modification de la séquence d'un gène » (notons que l'aspect aléatoire est peu évoqué : 3 définitions contiennent les termes « aléatoire » ou « accidentelle »)

9/35 définitions sont plus développées et précisent soit l'impact sur le génotype et le phénotype, (ex : « *modification de l'allèle d'un gène et formation d'un nouvel allèle* » ; « modifications des gènes entraînant une modification des caractères »), soit l'impact à l'échelle évolutive (ex : « *modifications qui exprimées sont responsables des innovations (sous influence du milieu) : modification de l'ADN. Moteur de l'évolution* »).

Définitions des chercheurs

5/31 définitions sont descriptives du mécanisme de mutation. (ex : « *événement aléatoire de changement d'une base de l'ADN (une lettre du code) en une autre = modification aléatoire de l'information génétique.* »)

Sur les 26 autres définitions, 19 passent outre la définition moléculaire de la mutation (modification de la séquence d'ADN) et sont d'emblée dans les effets des mutations aux échelles micro et macro de l'évolution. (ex : « *erreur lors de la réplication qui introduit une variation qui sera à l'origine de la sélection naturelle* » ; « *modification transmissible aux descendants (héritable) ; sans mutations, pas d'évolution naturelle possible (sauf évolution culturelle)* »).

Une majorité des définitions des chercheurs mettent ainsi en relation la mutation avec d'autres concepts de l'évolution et définissent davantage la place et la fonction de la « mutation » au sein d'un réseau de concepts que l'événement moléculaire auquel elle correspond.

Les définitions de l'item « sélection »

Définitions des enseignants

9/21 définitions sont de type descriptif et cantonnées à une seule génération : « *Les individus les plus adaptés à leur environnement se multiplient plus facilement et sont sélectionnés.* »

6/21 font référence à l'adaptation (dans le sens où les individus les plus adaptés sont sélectionnés).

10/21 font référence à l'environnement.

9/21 font référence à la reproduction.

Définitions des chercheurs

Les définitions font également référence à la reproduction (12/36), à l'environnement (7/36) et à l'adaptation (11/36). Mais ces références sont moins nombreuses (en proportion) chez les chercheurs que chez les enseignants.

Par contre un lien est fait avec l'aspect générationnel (5/36) dans le sens où la sélection est inscrite dans un processus qui s'effectue sur plusieurs générations.

Mais c'est au niveau de la variation que la différence est la plus importante : 12/36 définitions des chercheurs précisent que la sélection agit sur des variants phénotypiques dans une population initiale. Cet aspect de la sélection est absent des définitions des enseignants.

Les enseignants donnent des définitions de la sélection centrée sur l'adaptation d'un individu à son environnement qui lui permet de se reproduire davantage que les autres. C'est finalement le résultat de la sélection qui prédomine dans les définitions.

Les chercheurs donnent des définitions plus « élargies » en lien avec des concepts plus variés : la reproduction, l'adaptation, l'environnement, la variation (variants phénotypiques) et l'impact sur les générations suivantes. Les deux derniers concepts sont absents des définitions des enseignants.

Les définitions de l'item « dérive génétique »

Définitions des enseignants

La dérive est définie comme la « *modification aléatoire de la fréquence des allèles dans une population* » pour 7/11 définitions. Les liens sont faits avec le hasard, le changement des fréquences alléliques et la population.

Définitions des chercheurs

Chez les chercheurs nous trouvons ces trois éléments dans les définitions mais 6/12 définitions prennent également en compte l'aspect générationnel : « *fluctuation aléatoire de la fréquence des allèles ou génotypes dans une population au cours des générations, liée à un effet d'échantillonnage.* »

La différence la plus visible est, comme pour la sélection, l'inscription du mécanisme dans un temps multi-générationnel, élément qui n'apparaît pas dans les définitions des enseignants.

Discussion

Pour chacun des mots-stimulus que nous avons choisis en tant qu'ils sont des concepts fédérateurs du champ de l'évolution, nous avons constaté que les chercheurs évoquaient et renaient dans leurs listes d'importance les items représentant les conditions de possibilité de chaque concept étudié.

Nous avons constaté que ces conditions de possibilité ne sont pas ou très peu mobilisées pour chacun des mots-stimulus chez les enseignants. Ce point est capital : un savoir scientifique apodictique atteint son caractère de nécessité quand il intègre les conditions de possibilité de son objet. C'est à ce prix qu'il devient un outil d'explication et d'analyse des problèmes scientifiques.

Nous percevons par les résultats des réseaux d'association que les chercheurs ont compris le mot-stimulus « évolution » comme un concept scientifique et en ont exploré mentalement l'ensemble des dimensions. De leur côté les enseignants n'ont pas exploré certaines dimensions du concept proposé et notamment celle de ses conditions de possibilité. Par contre, ils ont davantage convoqué des éléments biologiques matériels, qui sont pour beaucoup des objets « observables », ce que n'ont pas fait les chercheurs. Si nous insistons sur les conditions de nécessité des savoirs scientifiques c'est qu'elles sont en lien avec les modes de validation des savoirs scientifiques. Par exemple, la parenté entre les êtres vivants s'explique et se valide à partir de l'origine commune des êtres vivants et de leur reproduction qui permet la transmission des caractéristiques du vivant. Sans mobiliser l'origine commune en lien avec la reproduction et l'hérédité, l'explication de la parenté ne peut pas être apodictique. Nous pensons que si les conditions de possibilité d'un savoir ou d'un concept ne sont pas mobilisées, sa mise en problème est impossible et les outils de sa validation insuffisants ce qui rend difficile un enseignement des sciences qui se veut aujourd'hui en appui sur la résolution de problèmes.

Le rapport au temps est particulier et un peu contradictoire dans les résultats des enseignants. Ils convoquent davantage que les chercheurs les patterns « historiques » et l'item « temps » est souvent mieux placé que chez les chercheurs mais paradoxalement ils ne font pas référence dans les définitions de la sélection et de la dérive à l'impact générationnel de ces processus de l'évolution, élément essentiel à leurs compréhensions.

L'analyse des définitions nous apporte des éléments de réflexion sur la nature conceptuelle ou non des items proposés par les enseignants. Les définitions fournies s'en tiennent en général à l'aspect descriptif de l'item et mettent peu l'objet défini en relation avec les concepts qui pourraient lui être associés. Leurs définitions sont orphelines de certaines dimensions, notamment des conditions de possibilité, ce qui n'en fait pas pleinement des définitions de concepts scientifiques.

Un indice grammatical (à valeur exploratoire) va dans le sens de ce résultat : l'utilisation du pluriel ou du singulier dans l'expression des items recueillis. Il est d'usage d'énoncer un concept scientifique au singulier avec un article défini. Dans les listes d'importance des enseignants plusieurs items sont au pluriel. En reprenant les regroupements que nous avons opérés chez les enseignants pour construire les listes d'importance globale nous avons choisi de garder certains items au singulier comme item de référence quand ils étaient majoritairement cités au singulier et nous les avons retenus au pluriel dans le cas contraire. 2 items ont été conservés au pluriel dans le noyau périphérique pour cette raison : « fossiles » et « êtres vivants ». Parmi les items qui figurent dans les noyaux secondaires (éléments contrastés et second noyau périphérique) 9 items sont énoncés majoritairement au pluriel. En comparaison aucun item des listes d'importance (avant regroupement) des chercheurs n'est énoncé au pluriel.

Conclusion

Le paysage conceptuel des enseignants n'est pas aussi conceptuel qu'attendu...

Les enseignants présentent un paysage moins conceptuel que celui des chercheurs, axé davantage sur les observables (patterns « matériels ») de l'évolution. Le paysage est plus inscrit dans la temporalité mais l'aspect générationnel est occulté. Cependant comme chez les chercheurs les items les plus représentés sont les processus de l'évolution et les patterns « historiques » arrivent au second plan.

Nous avons aussi mis en relief des éléments qui laissent penser que le savoir scientifique mobilisé par les enseignants est moins apodictique que celui des chercheurs. Ce résultat reste cependant à tester en situation professionnelle. Nous pourrions également penser que mobiliser un savoir « peu » apodictique n'est pas forcément un obstacle à l'enseignement des sciences. Les enseignants ne sont pas des chercheurs et maîtriser des

versions plus assertoriques des savoirs pourrait être suffisant dans l'optique d'un enseignement en direction d'élèves du secondaire. Notons que dans les programmes de SVT de 2001 les colonnes appelées aujourd'hui « connaissances » étaient intitulées : « notions et contenus ». Ce type de savoir pourrait être jugé suffisant également dans le cadre d'un enseignement « dogmatique » à visée encyclopédique. Les objectifs d'apprentissage ont cependant changé. Il est attendu que l'élève soit acteur de son apprentissage qui doit le conduire à maîtriser les concepts fondamentaux des disciplines qu'on lui enseigne. C'est l'esprit du socle commun actuel.

C'est pour s'inscrire dans cette ligne directrice que les démarches d'enseignement préconisées aujourd'hui s'articulent à partir de problèmes scientifiques que l'élève doit résoudre en adoptant une démarche scientifique au sens large, appelée dans l'institution scolaire « démarche d'investigation ». Comme le dit Michel Fabre :

« ...depuis 1993, une injonction à problématiser s'est répandue dans le système scolaire, de la maternelle à l'université, sans que soient toujours bien mesurées les exigences d'un tel positionnement intellectuel. Toutes les disciplines scolaires sont désormais concernées. » (Fabre, 2005, p.7)

Les savoirs assertoriques ne peuvent pas être générateurs de problèmes scientifiques qui doivent cependant se déployer dans les activités scolaires. Comment poser des problèmes scientifiques dans la classe s'ils ne sont pas en lien avec les conditions de possibilité du champ scientifique travaillé ? Comment choisir alors dans le champ des possibles les solutions nécessaires ? C'est à l'enseignant de baliser les démarches d'enseignement mais comment peut-il le faire sans mobiliser toutes les dimensions du savoir en question ?

Pour apporter des éléments de réponse à ces questions et comprendre davantage l'origine de l'épistémologie mobilisée par les enseignants nous poursuivons notre analyse dans deux directions. D'une part, nous analysons les textes officiels des programmes scolaires de SVT pour étudier le discours de l'institution scolaire sur la nature des sciences et voir en quoi il peut influencer l'épistémologie mobilisée par les enseignants de SVT. D'autre part, nous réalisons une étude portant sur des fiches d'activités élaborées par des enseignants de SVT qui nous permet de mettre à l'épreuve, en terme de conséquences didactiques, les éléments épistémologiques que nous avons pointés.

Chapitre 2 : Les sciences de l'évolution dans les programmes de SVT

Introduction

Comme nous l'avons déjà souligné, un des objectifs de l'enseignement des sciences est de faire acquérir aux élèves une culture scientifique basée à la fois sur des connaissances scientifiques et sur des connaissances épistémologiques.

Faire entrer des prescriptions sur la nature des sciences dans les programmes est relativement récent en France. Cette entrée dans les programmes de l'épistémologie des sciences a donné lieu à des travaux de didactiques qui s'inscrivent dans la ligne d'un courant de recherches venu des pays anglo-saxons et nommé NoS (Nature of Science) Les travaux menés au sein de ce courant de recherche mettent en évidence des décalages importants entre les représentations des élèves et des étudiants sur la nature des sciences par rapport à l'épistémologie des disciplines de référence. Le même constat est fait sur les représentations des enseignants qui montre qu'ils privilégient l'acquisition des connaissances et des pratiques scientifiques au détriment d'une réelle réflexion sur la nature des sciences. (Lederman, 2007 ; Pelissier, Venturini, 2010) Des études sur les programmes scolaires montrent également que le discours institutionnel sur la nature des sciences est peu développé dans les programmes du secondaire français et peu explicite quand il est présent (Maurines et al, 2012).

Cependant, même s'ils sont peu nombreux, des énoncés sur la nature des sciences sont présents dans les textes officiels et nous permettent d'avoir accès à l'épistémologie qui les sous-tend. Notre angle d'approche est celui de la distinction entre les sciences historiques et fonctionnalistes. Dans l'objectif d'un enseignement des sciences de l'évolution ces deux pôles scientifiques devraient être présents et explicités dans les instructions officielles des SVT. Par conséquent, analyser les programmes officiels des sciences de la vie et de la Terre des classes du secondaire en France, doit nous permettre d'étudier comment l'épistémologie des sciences de l'évolution est inscrite dans le discours institutionnel.

Les textes officiels constituent un corpus conséquent et disparate qui se compose des textes d'introduction des programmes (appelés préambule ou introduction selon le niveau considéré), des programmes sensu stricto (connaissances attendues et activités associées) et

d'un ensemble de ressources qui explicite les intentions générales et propose des exemples d'activités.

Dans un premier temps nous analysons les textes d'introduction aux programmes et les textes des ressources générales en tant qu'ils présentent les intentions générales de l'enseignement des SVT et contiennent des éléments de définitions sur la nature de la science et ses méthodes. Ils sont également le lieu où sont définis les objectifs de l'enseignement des sciences et les démarches d'enseignement. Chacun de ces axes du discours institutionnel contient des références à l'épistémologie à l'œuvre dans l'institution scolaire.

Le fil directeur de cette partie est d'objectiver ce que dit l'institution sur l'épistémologie des sciences fonctionnalistes et historiques et comment elle le dit. Les textes programmatiques sont des outils pertinents d'entrée dans l'analyse en tant qu'ils sont les documents de travail incontournables des enseignants qui sont dans l'obligation contractuelle de les mettre en œuvre (Code de l'éducation article L311-3¹⁹). Les programmes scolaires sont le principal outil de travail des enseignants et les positions institutionnelles sur l'épistémologie des sciences font partie des éléments qu'ils doivent nécessairement prendre en compte. Mettre à jour l'épistémologie qui sous-tend les programmes scolaires sera à même d'apporter des éclairages sur les choix des enseignants en terme de démarche d'enseignement.

Pour discriminer ce qui relève des sciences historiques et des sciences fonctionnalistes nous nous appuyons sur des indicateurs d'analyse qui correspondent aux critères de différenciation de ces sciences que nous avons exposés dans notre cadre épistémologique. Nous les présentons ici sous une forme plus opérationnelle.

I. Une grille d'analyse des sciences historiques et fonctionnalistes.

Comme l'explique Jean Gayon, la biologie, dès son émergence en 1802, s'est donnée « *un double objectif : d'une part découvrir les lois universelles qui rendent possible la vie en tant que fait général, d'autre part dresser le tableau de sa diversité et de son histoire.* » (Gayon, 2004, p.1). Ces objectifs, toujours d'actualité, alimentent les travaux des

19 « les programmes définissent, pour chaque cycle, les connaissances et les compétences qui doivent être acquises au cours du cycle et les méthodes qui doivent être assimilées. Ils constituent le cadre nationale au sein duquel les enseignants organisent leurs enseignements en prenant en compte les rythmes d'apprentissages de chaque élève. »

épistémologiques des sciences et de certains biologistes.

Ernst Mayr, co-auteur de la Théorie synthétique de l'évolution (1930-1940), distingue la biologie historique (ou évolutive) de la biologie fonctionnaliste. Sa ligne de partage passe par le type d'explication causale recherchée et par la méthodologie mise en œuvre. Le biologiste fonctionnaliste cherche les causes proximales, c'est-à-dire l'explication du « *mode d'actions des éléments structuraux et leurs interactions, des molécules jusqu'aux organes et aux organismes entiers.* ». Le biologiste évolutionniste cherche les causes ultimes c'est-à-dire « *les causes des caractéristiques propres des organismes, et en particulier de leurs adaptations.* ». Leurs méthodologies diffèrent : « *La principale technique qu'utilise le biologiste fonctionnaliste est l'expérience, et son approche est la même que celle du physicien ou du chimiste.* ». Pour le biologiste évolutionniste « *presque tous les phénomènes et processus sont expliqués grâce à des inférences tirées d'études comparatives.* » (Mayr, 1982, pp.107-108)

Aujourd'hui les sciences de l'évolution étudient les processus à l'œuvre dans l'évolution et l'histoire du monde vivant ce qui mobilisent à la fois les pratiques des sciences fonctionnaliste et celles des sciences historiques.

Rappelons que c'est le philosophe William Whewell (1794-1866) qui le premier publia un ouvrage consacré aux sciences historiques ou palétiologiques en tant qu'elles sont des sciences inductives (« Histoire des sciences inductives », Whewell, 1837). Par opposition, les sciences déductives sont nommées sciences nomologiques. Des auteurs contemporains proposent d'autres appellations ainsi que des critères de démarcation entre sciences historiques et fonctionnalistes. Guillaume Lecointre propose les appellations « sciences de structure » et « sciences des processus » (Lecointre, 2009). Il dresse une liste de critères spécifiques que nous reprenons en partie dans le tableau n°44 ci-dessous. Armand De Ricqlès insiste sur la nature différente des objets d'étude et distingue les « process », c'est-à-dire les mécanismes à l'œuvre dans l'évolution et les « patterns » c'est-à-dire les structures de l'évolution. (Nous discriminons au sein des patterns deux sous-groupes : les pattern « historiques » c'est-à-dire les reconstitutions historiques du monde vivant et les patterns « matériels » qui représentent les objets biologiques, les observables et les acteurs de l'évolution). Il met également l'accent sur la différence du mode de validation : démonstration expérimentale dans les sciences fonctionnalistes et monstration ou cohérentisme dans les sciences historiques (De Ricqlès, 2009). Michel Morange catégorise

lui en fonction du type d'explication scientifique mobilisée : mécaniste, c'est-à-dire la recherche des relations de cause à effet ou darwinienne c'est-à-dire l'explication de la diversité du monde vivant (Morange, 2012).

Dans le champ de la didactique, Denise Orange utilise la terminologie de « sciences historique et fonctionnaliste. » Sa réflexion la conduit à investiguer cette polarité par le prisme du couple phénomène/événement particulièrement pertinent dans le cadre de l'enseignement de la géologie (Orange, 2012).

Nous présentons dans le tableau suivant les critères de discrimination entre les sciences fonctionnalistes et les sciences historiques qui nous servira de grille d'analyse des textes officiels de l'enseignement des SVT.

Critères de différenciation	science fonctionnaliste	science historique
Autres terminologies	<i>science des processus</i> <i>science nomologique</i>	<i>science des structures</i> <i>science paléontologique</i>
Définition générale	Science qui étudie les mécanismes permanents et ubiquistes à l'œuvre dans les entités matérielles et les lois générales (universels) qui sous-tendent ces processus.	Sciences qui étudie la répartition spatio-temporelle de différentes entités matérielles et les relations causales de leur enchaînement.
Type de raisonnement	abductif, inductif et déductif	inductif, abductif
Administration de la preuve	validation expérimentale	mise en cohérence de données convergentes : monstration
Caractéristiques des objets d'étude	universaux et particuliers isolables en laboratoire atemporels	uniques, (ayant existé une seule fois) non isolables en laboratoire inscrits dans le temps et l'espace contingents
Exemples d'objets d'étude dans le domaine de l'évolution	mutation, sélection naturelle, dérive génétique, processus de diversification du génome...	la parenté entre les êtres vivants (phylogénie), les crises biologiques, l'origine de la vie...

Tableau n°44 : Critères de différenciation entre les sciences historiques et fonctionnalistes.

II. Analyse des introductions et des ressources générales des programmes de SVT

II. 1. Méthodologie

II. 1. 1. Corpus

Dans l'objectif de repérer quelle épistémologie sous-tend le discours institutionnel sur les sciences du vivant nous analysons les textes officiels suivants en tant qu'ils contiennent les intentions générales sur les sciences biologiques et géologiques et sur leur enseignement :

- L'introduction commune (mathématiques, sciences physiques et SVT) des programmes de SVT du collège.
- Le préambule pour le collège qui est spécifique aux SVT.
- Les ressources pour les classes de 6ème, 5ème, 4ème et 3ème (principes généraux)
- Le préambule des programmes de SVT du lycée, commun aux 3 années de la filière scientifique.

- Les ressources pour la classe de seconde générale et technologique

L'ensemble de ces textes est en accès libre sur le site officiel de l'éducation nationale (Eduscol). Nous avons retenu les textes qui, à la première lecture, présentaient des éléments de discours

sur la nature des sciences. Les ressources pour la classe de première et de terminale S se réfèrent essentiellement aux contenus scientifiques des programmes et pour cette raison ne figurent pas dans ce corpus.

Le premier travail effectué sur ce corpus consiste à relever l'ensemble des phrases qui contiennent des éléments d'épistémologie concernant la nature des sciences (définitions, objectifs) et les méthodes scientifiques (raisonnements, modes de validation, pratiques). Une première lecture montre que ces éléments sont présents dans différentes parties de ces textes. Certains paragraphes énoncent explicitement des propos sur la nature des sciences et d'autres sur la méthodologie scientifique. Mais nous trouvons également ces éléments de manière plus implicite dans des paragraphes consacrés aux objectifs de l'enseignement des sciences ainsi que dans ceux consacrés aux démarches d'enseignement à mettre en œuvre.

Le corpus de recherche est constitué de l'ensemble des phrases isolées ou associées en un petit paragraphe relevées dans les introductions générales et les ressources générales des programmes de SVT du secondaire et contenant ces éléments d'épistémologie.

II. 1. 2. Traitement des données

Les éléments épistémologiques collectés sont examinés au regard de nos indicateurs d'analyse (critères de différenciation des sciences fonctionnalistes et historiques) ce qui permet de repérer de quelle manière et dans quelle mesure les textes programmatiques convoquent les pôles fonctionnaliste et historique des sciences du vivant. Cette étude permet de repérer comment la pluralité scientifique des sciences du vivant est prise en compte et quelle part relative est accordée aux sciences historiques et fonctionnalistes dans le discours officiel.

Dans la recherche des éléments discriminants nous prêtons spécialement attention aux qualificatifs associés au terme de « science » et aux éléments de discours sur la nature de la science (définition, objectifs), aux expressions (verbes d'action) décrivant les pratiques scientifiques de référence, aux formulations sur les modes de validation de la preuve, aux modes de description des objets scientifiques (en lien avec l'évolution), à la prise en

compte de la temporalité de ces objets et de leur contingence éventuelle. Nous retenons également les phrases et expressions mentionnant les objectifs de l'enseignement des sciences et les méthodes d'enseignement en tant qu'elles sont souvent justifiées par leur adéquation supposée avec les activités scientifiques des domaines de référence (biologie et géologie). L'ensemble des phrases et expressions retenues sont les unités d'analyse qui constituent notre corpus de recherche.

Exemple de traitement d'une unité d'analyse du préambule du lycée :

Phrase n°7 du paragraphe 1 du préambule des programmes du lycée : « *La science construit à partir de méthodes d'argumentation rigoureuses fondées sur l'observation du monde, une explication cohérente de son état, de son fonctionnement et de son histoire.* »

Expression retenue sur la définition des sciences : « *La science construit...une explication cohérente de son état, de son fonctionnement et de son histoire.* »

Expression explicite du pôle historique : « *une explication cohérente de son état...et de son histoire.* »

Expression explicite du pôle fonctionnaliste : « *une explication de son fonctionnement* »

Expression non explicite (discriminante) sur l'activité scientifique : « *...méthodes d'argumentation rigoureuses fondées sur l'observation du monde, ...* »

II. 2. Résultats et analyses

II. 2. 1. Données quantitatives

Nous présentons sous forme d'un tableau et commentons des données quantitatives globales de notre analyse : nombre d'unités relevées dans les textes étudiés et part relative des unités d'analyse relevant explicitement des sciences fonctionnalistes ou historiques. Un certain nombre d'unités d'analyse ont cependant une formulation généraliste qui ne permet pas de discriminer entre les deux pôles. Nous les présentons en fonction des catégories du discours dans lesquels ces unités d'analyse ont été recensées.

Catégories du discours officiel	Nombre d'unité relevée	Nombre d'unité explicite relative au pôle historique	Nombre d'unité explicite relative au pôle fonctionnaliste
Définition des sciences Objectifs de la science	4 (lycée) + 3 (collège) 7	1 (lycée) 1	1 (lycée) + 3 (collège) 4
Méthodologie scientifique	4 (lycée) + 4 (collège) 8	0	2 (lycée) + 1 (collège) 3
Objectif de l'enseignement des sciences	7	0	0
Activités et pratiques d'enseignement des sciences	7 (lycée) + 12 (collège) 39	0 (lycée) + 2 (collège) 4	6 (lycée) + 8 (collège) 14

Tableau n° 45 : Répartition des unités d'analyse des textes analysés entre pôles fonctionnaliste et historique

Commentaires

Les textes analysés ici sont des textes d'introduction et en tant que tels ils sont constitués d'énoncés à caractère général qui ne permettent pas toujours de discriminer un pôle scientifique précis. Majoritairement les éléments épistémologiques exprimés sont de type « mixte » c'est-à-dire pouvant s'appliquer autant aux sciences historiques qu'aux sciences fonctionnalistes.

Cependant quand les énoncés sont plus explicites un déséquilibre apparaît entre la place accordée aux sciences historiques et aux sciences fonctionnalistes. Le premier constat général de notre analyse est que l'existence et les pratiques des sciences historiques sont minoritaires dans ces textes au contraire de celles des sciences fonctionnalistes qui font l'objet de descriptions plus nombreuses et précises.

Ce recueil de données nous amène à questionner plus avant l'appellation « sciences expérimentales » utilisée pour parler des Sciences de la Vie et de la Terre. Pour l'institution scolaire, les SVT font partie des « sciences expérimentales » et cette expression est très souvent utilisée. Nous avons déjà fait remarquer que ce vocable peut s'entendre de diverses manières. L'expression « sciences expérimentales » peut être employée comme synonyme de « sciences empiriques » c'est-à-dire comme les sciences qui étudient le réel sensible et dans ce cas elles englobent aussi bien les sciences historiques qui mobilisent des données matérielles que les sciences fonctionnalistes qui étudient et agissent sur des entités

matérielles. Dans ce cas, les SVT sont bien une discipline scolaire ayant comme objet l'enseignement des sciences expérimentales. Mais dans les textes officiels les pratiques scientifiques décrites sous l'appellation « sciences expérimentales » et devant être mises en œuvre dans la classe sont les manipulations et des expérimentations (et plutôt des expériences) sur des objets concrets et donc isolables en laboratoire ce qui est contraire à la nature des objets historiques. Il apparaît assez clairement que l'expression « sciences expérimentales » dans les textes officiels est souvent synonyme de sciences fonctionnalistes et n'englobent pas les particularités des sciences historiques. Cependant ce positionnement n'est pas systématique et dans le doute parfois de sa signification nous ne positionnerons pas d'emblée l'expression « sciences expérimentales » du côté du pôle fonctionnaliste. Nous tiendrons compte, au cas par cas, du contexte pour affiner le positionnement de cette expression.

II. 2. 2. Analyse des unités d'analyse

Nous entrons maintenant dans l'analyse détaillée des énoncés répertoriés. Nous les présentons par catégorie et pointons leur positionnement épistémologique au regard des critères de différenciation entre les sciences fonctionnalistes et historiques. Nous présentons ces ensembles dans 4 tableaux commentés.

- Tableau 1 : unités d'analyse portant sur un ou des aspects de la nature des sciences (définition, rôle, objectifs).
- Tableau 2 : unités d'analyse portant sur la méthodologie scientifique (démarche, raisonnement, mode de validation).
- Tableau 3 : unités d'analyse portant sur les objectifs de l'enseignement des sciences.
- Tableau 4 : unités d'analyse portant sur les modalités d'enseignement des sciences (démarches d'enseignement, activités)

Chaque unité d'analyse est passée au crible des critères de différenciation entre sciences historiques et fonctionnalistes. Certaines unités d'analyse énoncent des principes généraux qui sont communs aux deux pôles scientifiques étudiés. Certaines expressions sont cependant spécifiques d'un pôle et nous l'inscrivons dans la colonne correspondante. Quand l'unité d'analyse est entièrement spécifique d'un pôle scientifique nous mettons simplement une croix dans la colonne correspondante et quand c'est uniquement une partie de l'unité d'analyse qui est spécifique d'un pôle nous écrivons l'extrait correspondant dans

la colonne adéquate. Nous décidons également de ne pas prendre l'expression « sciences expérimentales » comme se référant d'emblée aux sciences fonctionnalistes pour les raisons citées ci-dessus et donc de ne pas pointer cette expression dans la colonne science fonctionnaliste. Nous indiquerons en première colonne la source institutionnelle de l'unité d'analyse : introduction (intro) ou ressources des programmes, collège ou lycée.

II. 2. 2. 1. La nature des sciences dans les textes officiels

Source institutionnelle	Unités d'analyse portant sur la nature de la science.	pôle historique	pôle fonctionnaliste
Intro collège	Les sciences expérimentales et la technologie permettent de mieux comprendre la nature et le monde construit par et pour l'Homme.		
Intro collège	L'extraordinaire richesse de la nature et la complexité de la technique peuvent être décrites par un petit nombre de lois universelles et de concepts unificateurs.		Lois universelles
Intro collège	La démarche expérimentale, au-delà de la simple observation, contribue à une représentation scientifique, donc explicative, du monde.		Démarche expérimentale
Ressources collège	Si le géologue est sédimentologue, structuraliste ou pétrographe, les objets étudiés sont différents ; mais tous recherchent des indices pour expliquer des agencements, des phénomènes, reconstituer des paysages anciens et éventuellement retrouver l'histoire géologique.	Expliquer des agencements, reconstituer des paysages, retrouver l'histoire géologique.	Expliquer des phénomènes
Intro lycée	Rôle des sciences dans la compréhension du monde		
Intro lycée	La science construit, à partir de méthodes d'argumentation rigoureuses fondées sur l'observation du monde, une explication cohérente de son état, de son fonctionnement et de son histoire.	Une explication de son état,... et de son histoire	Une explication cohérente ... de son fonctionnement
Intro lycée	Les thèmes généraux aident à montrer la cohérence globale du champ intellectuel concerné, centré sur un objet d'étude - la nature - et des méthodes fondées sur la confrontation entre les idées scientifiques et les faits - naturels ou expérimentaux.		

Tableau n°46 : unités d'analyse portant sur un ou des aspects de la nature des sciences (définition, rôle, objectifs).

Commentaires

Pour l'institution la science conduit à la compréhension et à l'explication cohérente de la nature et du monde. L'impact de l'espèce humaine sur le monde est souligné.

Cependant, au collège dans le préambule commun à l'enseignement des sciences, c'est l'expression « sciences expérimentales » qui est utilisée comme terme générique pour les sciences autres que mathématiques et la démarche expérimentale est la seule citée comme moyen d'accès à l'explication du monde. L'accent est mis sur les lois universelles, qui sont spécifiques des sciences nomologiques (donc fonctionnalistes). Néanmoins au collège, un des objectifs des sciences historiques est évoqué par le biais de la géologie quand il est précisé que le géologue cherche à reconstituer l'histoire géologique ou des paysages anciens. La géologie est dans cet extrait présentée comme une science mobilisant les sciences historiques (expliquer des agencements, reconstituer des paysages anciens, retrouver l'histoire géologique) et fonctionnaliste (expliquer des phénomènes). Il est remarquable que ce qui se conçoit pour la géologie ne se conçoit pas ou du moins pas encore pour la biologie au collège.

Au lycée le discours prend en compte pour la première fois l'historicité du vivant puisque la science construit une explication du fonctionnement du monde mais également de son histoire. Les moyens d'accès sont libellés de manière plus ouverte : « *méthodes fondées sur la confrontation entre les idées et les faits, naturels ou expérimentaux* ». Cette formulation plus générale qu'au collège ouvre davantage le champ méthodologique scientifique et ne le focalise pas uniquement sur la démarche expérimentale.

Cette ouverture épistémologique perceptible dans les préambules à partir du lycée questionne cependant la stratégie institutionnelle d'enseignement des sciences. Il semble que le parti pris est le suivant : dans un premier temps, c'est-à-dire au collège, l'enseignement des sciences de la vie est appréhendé uniquement sous son aspect expérimental avec une insistance sur l'observation directe du concret, du réel donc du présent, et du manipulable. Puis au lycée, se développe une approche des sciences plus pluraliste avec la prise en compte de l'historicité du vivant (avec cependant une absence d'explicitation).

En dehors du fait que cette stratégie conduit à donner une vision des sciences très expérimentale aux élèves qui choisiront des filières techniques et n'auront plus

d'enseignement des sciences de la vie après le collège, elle interroge plus fondamentalement la faisabilité d'un enseignement de l'évolution au collège dans sa composante historique puisque rien n'est envisagé dans les textes sur l'historicité du vivant. Or, l'évolution est au programme du collège : classification phylogénétique en sixième , (qui est un domaine des sciences historiques) ; étude des fossiles en quatrième ; première approche globale de l'évolution en troisième.

II. 2. 2. Les méthodes scientifiques dans les textes officiels

Pour des raisons de format nous scindons ce tableau en deux parties.

Source	Unités d'analyse portant sur les méthodes scientifiques	pôle historique	pôle fonctionnaliste
Intro collège	Les mathématiques fournissent des outils puissants pour modéliser des phénomènes et anticiper des résultats en particulier dans le domaine des sciences expérimentales.		Modéliser des phénomènes
Intro collège	Au-delà de la perception directe, l'observation peut être affinée par l'emploi d'instruments, objets techniques qui étendent les possibilités des sens. Elle peut aussi être complétée par l'utilisation d'appareils de mesure et par l'exploitation mathématique des résultats qu'ils fournissent. L'exploitation de séries de mesures, la réflexion sur leur moyenne et leur dispersion, tant dans le domaine des sciences expérimentales que dans celui de la technologie introduisent l'idée de précision de la mesure et conduisent à une première vision statistique du monde.		
Intro collège	Pour connaître et comprendre le monde de la nature et des phénomènes, il s'agit d'observer, avec curiosité et esprit critique, le jeu des effets et des causes, en imaginer puis construire des explications par raisonnement, percevoir la résistance du réel en manipulant et expérimentant, savoir la contourner tout en s'y pliant.	Le jeu des effets et des causes	La résistance au réel en manipulant et expérimentant.
Ressources collège	L'observation est une activité fondamentale de la démarche scientifique.		
Ressources collège	Un raisonnement par analogie peut s'imposer. Il s'appuie sur la comparaison de deux faits en montrant leurs similitudes et leurs différences.		

Source	Unités d'analyse portant sur les méthodes scientifiques	pôle historique	pôle fonctionnaliste
Ressources collège	Ils appliquent le principe d'actualisme. L'enseignant veille à ce moment à indiquer les limites de ce type de raisonnement déductif, en rappelant qu'on applique ce principe faute d'information sur les conditions de vie des êtres vivants concernés, et jusqu'à preuve du contraire.		
Ressources collège	Par ailleurs, le raisonnement scientifique privilégie une démarche argumentative et amène ainsi les élèves à distinguer argument rationnel et argument d'autorité. L'argumentation rationnelle s'impose à tous et met l'accent sur l'universalité de la communauté scientifique, sans nier pour autant le caractère évolutif et non définitif de toute connaissance scientifique.		
Intro lycée	La science construit, à partir de méthodes d'argumentation rigoureuses fondées sur l'observation du monde, une explication cohérente de son état, de son fonctionnement et de son histoire.	Une explication cohérente de son état,..., de son histoire	Une explication cohérente de son fonctionnement
Intro lycée	Pratiquer une démarche scientifique.(observer, questionner, formuler une hypothèse, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser)		expérimenter
Intro lycée	Comprendre qu'un effet peut avoir plusieurs causes.		
Ressources seconde	Pour y parvenir, il est nécessaire de mettre en œuvre les méthodes propres aux sciences, tout particulièrement la démarche expérimentale.		démarche expérimentale
Intro lycée	Culture scientifique fondée sur des connaissances valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits naturels ou expérimentaux.		

Tableau 47 : unités d'analyse portant sur la méthodologie scientifique (démarche, raisonnement, mode de validation).

Commentaires

Les unités d'analyse portant uniquement sur les pratiques et les activités scientifiques du domaine de référence (sciences du vivant et sciences de la Terre) sont peu nombreuses dans les textes officiels. Nous pouvons cependant repérer dans ces extraits que l'activité la plus mise en avant dans la pratique scientifique est l'observation (citée à 5 reprises dans les unités d'analyse). Dans ces énoncés toutes les démarches débutent par l'observation d'un réel. Ces observations peuvent être affinées grâce aux outils de mesure mathématiques et elles sont le fondement des méthodes d'argumentation rigoureuses. La vision d'une science dont les questionnements émergent uniquement de l'observation du réel, « sans a priori », a été remise en cause par de nombreux scientifiques, épistémologues et didacticiens et elle

n'est plus d'actualité.

« On peut parfaitement examiner un objet pendant des années sans jamais en tirer la moindre observation d'intérêt scientifique. Pour apporter une observation de quelque valeur, il faut déjà, au départ, avoir une certaine idée de ce qu'il y a à observer. Il faut déjà avoir décidé de ce qui est possible » (Jacob, 1981, p. 29).

L'observation est évidemment inhérente aux sciences empiriques et donc aux sciences fonctionnalistes et historiques mais sa place ne peut être cantonnée à la seule phase initiatrice d'une démarche scientifique. Cet aspect simplificateur de l'empirisme, devient particulièrement problématique dans le cas des démarches propres aux sciences historiques. Les objets étudiés dans ce champ scientifique ne sont pas « observables » par nature puisqu'ils n'ont existé qu'une seule fois et ne sont pas reproductibles. Ce qui est observable concrètement dans ce cadre ce sont les effets ou les résultats supposés (de processus) ou d'événements passés. L'observation est également à l'œuvre dans le processus de validation puisque c'est par accumulation de données convergentes, qui peuvent être issues d'observations multiples, que la solidité théorique se construit. Placer ainsi l'observation uniquement comme initiale dans les démarches scientifiques conduit à occulter des pans entiers de l'activité scientifique et spécialement celles propres aux sciences historiques.

Concernant la méthodologie du raisonnement scientifique, les formulations trouvées au niveau du lycée sont peu discriminantes pour notre étude. Les expressions « *argumentation rationnelle* » « *méthodes d'argumentation rigoureuses* », « *construire des explications par raisonnement* » et « *la confrontation entre les idées scientifiques et les faits, naturels ou expérimentaux.* » sont suffisamment générales pour être applicables aux deux pôles que nous analysons.

Une seule unité d'analyse fait référence aux modalités de la preuve et sa formulation est là aussi généraliste et applicable à l'ensemble des sciences empiriques : les connaissances sont valides tant « *qu'elles résistent à l'épreuve des faits naturels ou expérimentaux* ».

Néanmoins, bien qu'insérer dans des items qui présentent un aspect généraliste des sciences, la référence à « l'expérimentale » reste présente et semble une étape obligatoire, ou du moins à favoriser, de la démarche scientifique : « *percevoir la résistance du réel en manipulant et expérimentant* », « *Pratiquer une démarche scientifique. (observer, questionner, formuler une hypothèse, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser)* », « *Pour y parvenir, il est nécessaire de mettre en œuvre les méthodes propres aux sciences,*

tout particulièrement la démarche expérimentale. ».

Cependant, dans les ressources pour le collège et concernant la géologie, nous trouvons un énoncé portant sur le raisonnement par analogie qui conduit à citer le principe de l'actualisme. Ces énoncés insistent sur la prudence avec laquelle ces raisonnements doivent être manipulés par les élèves qui sont « *peu familier(s)* » avec eux. Pourtant l'actualisme est, selon les travaux de Denise Orange Ravachol auxquels nous nous référons, « *un principe structurant fort* » qui permet « *aux scientifiques de contrôler les reconstitutions historiques et d'accéder à la matérialité et à la signification des archives de la Terre, vues comme des marques spatiales et temporelles de phénomènes ou d'événements géologiques qui viendront elles aussi les contraindre.* » (Orange Ravachol, 2010, p. 121). Ses travaux sur la prise en compte de la temporalité dans les sciences historiques et fonctionnalistes la conduisent à proposer deux niveaux d'actualisme : l'actualisme de premier niveau qui est un actualisme d'analogie et un actualisme de second niveau qui oblige à rentrer dans l'appréhension d'un temps long en faisant intervenir des événements de longue durée dont nous ne pouvons pas avoir la perception à l'échelle de temps humain. C'est cet actualisme de second niveau (quand il est notamment poussé à ses limites) qui permet réellement de rentrer dans la complexité des reconstitutions de l'histoire de la Terre et du vivant.

Dans les unités d'analyse abordant ce thème, l'actualisme est, d'une part, cantonné à son premier niveau c'est-à-dire à l'analogie entre des observations faites dans les milieux naturels et les phénomènes du passé. Ce niveau d'actualisme ne permet pas réellement de rentrer dans une temporalité adéquate des événements passés et de leur reconstitution. D'autre part, ce raisonnement est uniquement cité dans le cadre de l'enseignement de la géologie. Là aussi, les sciences historiques au sein des sciences du vivant sont occultées.

Concernant les raisonnements scientifiques et le mode de validation de la preuve, l'actualisme est qualifié de raisonnement « *déductif* » puis une mise en garde rappelle que l'on « *applique ce principe faute d'information sur les conditions de vie des êtres vivants concernés, et jusqu'à preuve du contraire* ». Or un raisonnement déductif conduit nécessairement à une conclusion vraie et ne peut se construire sur un « *manque d'information* ». Une reconstitution historique mobilise un raisonnement inductif parce qu'il propose une explication du passé par la mise en cohérence de faits disparates et que la conclusion apportée contient des éléments d'explication qui ne sont pas contenues dans les prémisses (c'est-à-dire les faits collectés). De fait cette explication ne peut être issue d'un

raisonnement déductif.

Cet énoncé révèle des confusions épistémologiques quant à la nature des raisonnements scientifiques. Or l'acquisition des raisonnements scientifiques par les élèves est un objectif répété à plusieurs reprises dans les textes analysés.

Nous retenons de ces commentaires que la démarche scientifique de référence sur laquelle insiste l'institution scolaire est la démarche expérimentale, centrée sur la mise en œuvre d'un protocole expérimentale, ce qui est propre aux sciences fonctionnalistes. Les modalités des sciences historiques, et spécialement le rapport au temps et à la contingence, sont ténues dans ces textes et restreintes au seul champ de la géologie.

II. 2. 2. 3. Les objectifs de l'enseignement des sciences

Nous poursuivons notre étude par les unités d'analyse issues des énoncés se référant aux objectifs de l'enseignement des sciences et exprimant, notamment, des objectifs de connaissances épistémologiques. (Nous scindons le tableau en 3 parties)

Source	Unités d'analyse portant sur les objectifs de l'enseignement des sciences.	pôle historique	pôle fonctionnaliste
Intro collègue	L'élève doit s'être construit une première représentation globale et cohérente du monde dans lequel il vit.		
Intro collègue	L'objectif de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre est de comprendre le monde. Il s'agit d'expliquer le réel.		
Intro collègue	L'exploitation de séries de mesures, la réflexion sur leur moyenne et leur dispersion, tant dans le domaine des sciences expérimentales que dans celui de la technologie introduisent l'idée de précision de la mesure et conduisent à une première vision statistique du monde.		
Intro collègue	Les sciences de la vie et de la Terre contribuent ainsi à l'acquisition d'une culture humaniste.		
Intro collègue	Il vise à renforcer la culture scientifique et à évaluer des connaissances, les capacités et les attitudes développées tout au long de la scolarité au collège		

Source	Unités d'analyse portant sur les objectifs de l'enseignement des sciences.	pôle historique	pôle fonctionnaliste
Intro collège	Dans cette double perspective, on attend de chaque élève, au terme du collège, une maîtrise suffisante : - de connaissances indispensables assurant une compréhension du monde vivant, de la Terre et du monde réel, celui de la nature, celui construit par l'homme, ainsi que les changements induits par l'activité humaine ; - de capacités et d'attitudes permettant d'utiliser ces connaissances, et d'effectuer des choix raisonnés au cours de sa vie d'adulte et de citoyen.		
Intro collège	En classe de sixième, la formation méthodologique des élèves est essentielle.		
Intro collège	Les différentes thématiques autour desquelles s'articulent les programmes concourent à la construction d'une culture scientifique et technologique au terme du collège ; elles permettent l'acquisition de connaissances et de capacités dans le respect d'attitudes formatrices et responsables.		
Intro collège	Chercher à comprendre l'environnement qui nous entoure nécessite de le connaître, et donc avant tout d'en percevoir les messages : l'observation est une activité fondamentale de la démarche scientifique ; développer cette compétence méthodologique chez l'élève, est un des enjeux de l'enseignement des sciences.		
Ressources collège	La réflexion sur ce qu'est une science : en travaillant sur la démarche ; en soulignant l'importance des débats, des controverses, des conflits... dans la production des théories scientifiques qui sont soumises à des entreprises de réfutation ; en soulignant l'importance des tâtonnements scientifiques ; en relativisant les acquis ; en réfléchissant aux aspects éthiques, à la signification du progrès scientifique...		

Sources	Unités d'analyse portant sur les objectifs de l'enseignement des sciences.	pôle historique	pôle fonctionnaliste
Ressources collège	- aider à la construction d'une culture scientifique commune fondée sur des connaissances considérées comme valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits (naturels ou expérimentaux) et des modes de raisonnement propres aux sciences - participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation citoyenne par la prise de conscience du rôle des sciences dans la compréhension du monde et le développement de qualités intellectuelles générales par la pratique de raisonnements scientifiques ;		
Intro lycée	Si les connaissances scientifiques à mémoriser sont raisonnables, c'est pour permettre aux enseignants de consacrer du temps pour faire comprendre ce qu'est le savoir scientifique, son mode de construction et son évolution au cours de l'histoire des sciences.		
Intro lycée	La poursuite des objectifs de formation méthodologique implique généralement que l'on mette en œuvre une pédagogie active, au cours de laquelle l'élève participe à l'élaboration d'un projet et à la construction de son savoir.		
Intro lycée	Le lycéen doit se préparer à une autonomie de pensée et d'organisation qui lui sera indispensable pour réussir ses études supérieures. Les travaux pratiques se prêtent particulièrement au développement de cette compétence.		

Tableau 48 : unités d'analyse portant sur les objectifs de l'enseignement des sciences.

Commentaires

Ces énoncés, d'ordre très général, ne permettent pas réellement de positionner des éléments dans les colonnes « pôle historique » ou « pôle fonctionnaliste ». L'objectif global clairement affiché dans ces préambules est de faire acquérir aux élèves, par le biais de l'enseignement des sciences, une culture scientifique et humaniste. Au collège, cette culture scientifique est fondée sur « *l'acquisition de connaissances et de capacités dans le respect d'attitudes formatrices et responsables* ». La culture humaniste semble entendue comme l'acquisition « *d'un comportement citoyen responsable vis à vis de l'environnement et de la vie* ».

Les connaissances acquises à la fin du collège doivent assurer « *une compréhension du monde vivant, de la Terre et du monde réel, celui de la nature, celui construit par l'Homme, ainsi que les changements induits par l'activité humaine.* » Nous retrouvons dans cet énoncé le centrage sur le réel et le temps présent déjà mis en exergue dans les énoncés

précédents.

D'un point de vue méthodologique, l'observation est, ici aussi, présentée comme « *une activité fondamentale de la démarche scientifique* » et devient à ce titre un enjeu méthodologique majeur.

Cependant, et c'est une nouveauté, la « *réflexion sur ce qu'est une science* » doit être menée. Cet objectif de connaissance épistémologique, énoncé en utilisant l'expression « une science » et non pas « la » science, ouvre la possibilité d'une pluralité scientifique et pourrait être le lieu d'explicitation des pratiques des sciences fonctionnalistes et historiques. Mais l'accent est plutôt mis sur la relativité des savoirs scientifiques que sur la diversité des pratiques et des raisonnements scientifiques : «... *en soulignant l'importance des débats, des controverses, des conflits* », «...*en soulignant l'importance des tâtonnements scientifiques ; en relativisant les acquis,* ».

Nous retenons des objectifs d'enseignement au collège que les ambitions affichées souffrent d'un manque de moyen pour pouvoir se réaliser. La « *compréhension du monde vivant* » ne peut être complète sans investiguer son histoire. Pour atteindre cet objectif de connaissance mais également pour comprendre ce que sont les sciences, l'ensemble des modalités scientifiques devrait être pris en compte dans l'enseignement et faire partie du bagage scientifique de l'élève à l'échéance de la formation. Cela inclut donc d'aborder les sciences du vivant et de la Terre dans leurs composantes historiques et fonctionnalistes. Mais là aussi, l'appui sur le monde « réel » et le temps présent rend « hors champ » l'enseignement des objets des sciences historiques.

Dans les objectifs d'enseignement pour le lycée, les ambitions épistémologiques sont plus développées. Il s'agit de faire comprendre « *ce qu'est le savoir scientifique, son mode de construction et son évolution au cours de l'histoire des sciences* » et de développer des « *qualités intellectuelles générales par la pratique de raisonnements scientifiques* ». Ces objectifs ne peuvent être pleinement atteints que si les modalités des sciences fonctionnalistes et celles des sciences historiques sont mobilisées dans l'enseignement des sciences.

Nous nous attendons alors à trouver dans les énoncés, portant sur les démarches d'enseignement, des références à l'épistémologie des sciences fonctionnalistes et historiques.

II. 2. 2. 4. Les démarches d'enseignement des sciences

Nous poursuivons notre étude par les unités d'analyse qui se réfèrent aux démarches d'enseignement des sciences. Ces unités constituent naturellement la majorité de notre corpus puisque les textes des introductions, des préambules et les documents d'accompagnement développent essentiellement les méthodes de l'enseignement des sciences. Pour cette raison, plusieurs unités d'analyse sont redondantes car inscrites quasiment à l'identique dans les différents documents. Une première lecture montre qu'un nombre important d'unités portent sur la démarche d'investigation qui apparaît comme la pierre angulaire de l'enseignement des sciences aussi bien au collège qu'au lycée. Nous les présentons et les examinons au sein d'un premier tableau pour des questions de clarté de l'analyse. Nous présentons dans un second tableau les unités d'analyse portant sur les démarches d'enseignement ne se référant pas directement à la démarche d'investigation.

Sources	Unités d'analyse portant sur la démarche d'investigation	Pôle historique	Pôle fonctionnaliste
Intro collègue	Dans la continuité de l'école primaire, les programmes du collège privilégient pour les disciplines scientifiques et la technologie une démarche d'investigation.		
Intro collègue	Comme l'indiquent les modalités décrites ci-dessous, cette démarche n'est pas unique. Elle n'est pas non plus exclusive et tous les objets d'étude ne se prêtent pas également à sa mise en œuvre.		
Intro collègue	Il appartient au professeur de déterminer les sujets qui feront l'objet d'un exposé et ceux pour lesquels la mise en œuvre d'une démarche d'investigation est pertinente.		
Intro collègue	La démarche d'investigation présente des analogies entre son application au domaine des sciences expérimentales et à celui des mathématiques. La spécificité de chacun de ces domaines, liée à leurs objets d'étude respectifs et à leurs méthodes de preuve, conduit cependant à quelques différences dans la réalisation...		
Intro collègue	Une éducation scientifique complète se doit de faire prendre conscience aux élèves à la fois de la proximité de ces démarches (résolution de problèmes, formulation respectivement d'hypothèses explicatives et de conjectures) et des particularités de chacune d'entre elles, notamment en ce qui concerne la validation, par l'expérimentation d'un côté, par la démonstration de l'autre.		expérimentation démonstration
Intro collègue	Ce canevas (celui de la démarche d'investigation) n'a pas la prétention de définir « la » méthode d'enseignement, ni celle de figer de façon exhaustive un déroulement imposé.		
Intro collègue	La spécificité de chaque discipline conduit à penser différemment dans une démarche d'investigation, le rôle de l'expérience et le choix du problème à résoudre. Le canevas proposé doit donc être aménagé pour chaque discipline.		rôle de l'expérience

Source	Unités d'analyse portant sur la démarche d'investigation	Pôle historique	Pôle fonctionnaliste
Intro collège	<p>L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves :</p> <ul style="list-style-type: none"> - moments de débat interne au groupe d'élèves - contrôle de l'isolement des paramètres et de leur variation, description et réalisation de l'expérience (schémas, description écrite) dans le cas des sciences expérimentales, réalisation en technologie - description et exploitation des méthodes et des résultats - recherche d'éléments de justification et de preuve, confrontation avec les conjectures et les hypothèses formulées précédemment. 		réalisation de l'expérience dans le cas des sciences expérimentales
Ressources collège	<p>Dans la démarche d'investigation, présentée dans l'introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques et technologique, l'élève est amené, en sciences de la vie et de la Terre, à parcourir plusieurs étapes essentielles :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La motivation, c'est le point de départ de la démarche basée sur une situation déclenchante retenue par le professeur : « d'où part-on ? » ; • L'appropriation d'un questionnement ou d'un problème, c'est le passage des questions suscitées par la curiosité et l'intérêt initiés par la situation déclenchante, à la formulation d'un questionnement ou d'un problème ayant une portée scientifique : « Que cherche-t-on ? » ; • La définition d'un projet, c'est le moment où l'élève propose des réponses possibles et des premières explications, recherche des solutions et choisit la méthodologie la plus appropriée en fonction du questionnement et des propositions de solutions acceptés : « comment va-t-on faire pour chercher ? » ; • L'investigation sensu stricto, l'élève fait et sait pourquoi il fait. Il cherche en s'appuyant sur : <ul style="list-style-type: none"> - une observation (dans la nature, en laboratoire ...), - une recherche documentaire, - une expérience, - une modélisation, - une simulation... • La confrontation des réponses trouvées, lors d'une mise en commun : « a-t-on trouvé ce que l'on cherchait ? » « Est-ce conforme à ce que l'on attendait ? » • La structuration du savoir, c'est l'élaboration, avec l'aide de l'enseignant, d'un écrit de référence commun à toute la classe et conforme au savoir construit (ce que l'on a expliqué, compris et découvert) et au savoir établi • L'appropriation du savoir construit « est-on capable d'utiliser ce que l'on a appris ? » 		

Source	Unités d'analyse portant sur la démarche d'investigation	Pôle historique	Pôle fonctionnaliste
Ressources collègue	La démarche d'investigation repose donc sur une situation déclenchante qui peut être : <ul style="list-style-type: none"> - une situation proche de la préoccupation de l'élève, - un fait d'actualité, - une perturbation, liée à une confrontation des représentations de l'élève ou à l'étude d'un document relatif à l'histoire des sciences, - une confrontation entre des acquis et un fait nouveau, - des observations du réel... 		
Ressources collègue	Le professeur adopte une démarche d'investigation pour la construction de sa leçon. L'implication de l'élève dans chacune des étapes de la démarche peut être plus ou moins importante, selon le sujet abordé, dans le respect d'une programmation annuelle équilibrée. Les productions demandées portent sur les points suivants : <ul style="list-style-type: none"> - proposer des questions à partir de la situation déclenchante ; - prévoir ce qu'il faut mettre en œuvre pour répondre à une question ; - argumenter pour justifier ce qui est envisagé ; - réaliser ce qui a été prévu ; - exploiter les résultats obtenus ; - rendre compte de ce que l'on a voulu faire, de ce qui a été fait, des résultats obtenus et de leur exploitation. 		
Intro lycée	La démarche d'investigation prend tout particulièrement son sens au lycée et s'appuie le plus souvent possible sur des travaux d'élèves en laboratoire.		
Intro lycée	Ainsi, l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de mettre à l'épreuve ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée.		X
Intro lycée	<ul style="list-style-type: none"> - une situation motivante suscitant la curiosité ; - la formulation d'une problématique précise ; - l'énoncé d'hypothèses explicatives ; - la conception d'une stratégie ou d'un protocole pour éprouver ces hypothèses ; - la mise en œuvre du projet ainsi élaboré ; - la confrontation des résultats obtenus et des hypothèses ; - l'élaboration d'un savoir mémorisable ; - l'identification éventuelle de conséquences pratiques de ce savoir. 		

Source	Unités d'analyse portant sur la démarche d'investigation	Pôle historique	Pôle fonctionnaliste
Intro lycée	Pour que la démarche d'investigation soit un réel outil de formation, une vision qualitative plutôt que quantitative est préférable		
Intro lycée	Cette démarche constitue le cadre intellectuel approprié pour la mise en œuvre d'activités de laboratoire, notamment manipulatoires et expérimentales, indispensables à la construction des savoirs de la discipline. Les activités en laboratoire doivent aussi être l'occasion d'aborder des tâches complexes.		X
Intro lycée	L'approche historique d'une question scientifique peut être une manière originale de construire une démarche d'investigation.		

Tableau 49 : unités d'analyse portant sur les modalités de la démarche d'investigation

Commentaires

La démarche d'enseignement préconisée par l'institution s'appuie sur la mise en place d'une pédagogie active et la démarche d'investigation (DI) est présentée comme particulièrement adaptée à ce cadre pédagogique que ce soit au collège ou au lycée. Dans le préambule commun elle est prescrite pour « *l'ensemble des disciplines scientifiques* » c'est-à-dire pour les mathématiques et les sciences expérimentales.

La démarche d'investigation a été mise en place progressivement depuis les années 2000 pour faire évoluer les pratiques d'enseignement jugées trop illustratives. Elle a pour objectif de rendre l'élève acteur de son apprentissage et par là même rendre l'enseignement des sciences plus attractif dans un moment où une certaine désaffection pour les études se faisait sentir notamment en France (Rocard et al., 2007). Ce renouveau pédagogique a été initié dans les pays anglo-saxons dans les années 90 par l'instauration de l'*Inquiry-based science education* (IBSE) inspiré par la pédagogie de l'enquête de Dewey. D'abord mise en place à l'école primaire en France en 2002, la DI est institutionnalisée au collège et au lycée en 2008. Ainsi, elle « *apparaît comme un nouveau sésame pour l'enseignement des sciences, en privilégiant la construction du savoir par l'élève, sans faire référence à un modèle pédagogique ni à une théorie de l'apprentissage.* » (Coquidé et al., 2009, p. 55)

La mise en œuvre de la DI dans les classes a donné lieu à de nombreux travaux en didactique des sciences. Citons les ouvrages de Bernard Calmettes (« *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formations* », 2012) et l'ouvrage collectif dirigé par Michel Grangeat (« *Les enseignants*

face aux démarches d'investigations. Des formations et des pratiques de classe », 2013)

Ces ouvrages mettent en avant une grande hétérogénéité des pratiques sur le terrain, liée à des interprétations variables de ce qu'est une démarche d'investigation. Les analyses convergent également pour pointer la part très ou trop importante qu'elle accorde à la pratique et surtout à la validation expérimentale. Si nous reprenons les propos de Christian Orange, elle est inscrite dans un schéma épistémologique qui réduit paradoxalement les investigations que les enseignants sont censés faire mener aux élèves, en entretenant une vision « *linéaire et stéréotypée des démarches* » très axées sur « *les investigations empiriques* » (Orange, 2012, p. 10, p. 127). Ce schéma est en décalage avec la réalité de l'activité scientifique que les instructions officielles inscrivent cependant comme devant être pratiquée par les élèves.

La question qui nous préoccupe ici est de repérer si la DI, telle qu'elle est présentée dans les instructions officielles, est « compatible » avec l'enseignement des sciences historiques et leur épistémologie. Mais il apparaît rapidement que ce sont les pratiques des sciences fonctionnalistes qui sont majoritairement exposées dans ces textes. La prégnance de l'expérimentation est particulièrement repérable dans l'unité d'analyse comparant la démarche d'investigation en mathématiques et dans les sciences expérimentales. Des différences sont pointées quant à sa mise en œuvre dans ces deux domaines : s'il existe « *une proximité de ces démarches* » les modes de validation sont différents : « *démonstration* » pour les mathématiques et « *expérimentation* » pour les sciences expérimentales. Dans cette assertion l'expérimentation est d'emblée présentée comme l'étape de validation incontournable des sciences expérimentales. Même si nous entendons l'expression « sciences expérimentales » dans son sens le plus inclusif c'est-à-dire dans le sens de « sciences empiriques », dont font alors partie les sciences historiques, cette assertion sur l'expérimentation occulte leur mode de validation c'est-à-dire la mise en cohérence maximale des données.

Neuf autres unités d'analyse se réfèrent explicitement à une démarche dans laquelle l'observation et l'expérimentation sont les pierres angulaires de l'activité scientifique. Par exemple, au sein des sciences expérimentales, l'enseignant doit dès que possible privilégier « *...l'observation, l'expérimentation ou l'action directe par les élèves sur le réel...* ». Dans la phase d'investigation *sensu stricto* c'est la mise en œuvre d'un protocole expérimental qui est indiquée et c'est la seule activité proposée : « *contrôle de l'isolement des paramètres et*

de leur variation, description et réalisation de l'expérience (schémas, description écrite) dans le cas des sciences expérimentales, réalisation en technologie ».

Cependant, d'autres unités d'analyse, minoritaires, sont plus nuancées et ouvrent les perspectives. Concernant la démarche d'investigation, sa description dans les ressources pour le collège, élargit le champ des activités par une description qui s'attache plus à préciser les attitudes attendues à chaque étape qu'à en préciser les moyens matériels. Dans la phase d'investigation *sensu stricto* nous relevons que plusieurs activités sont possibles et l'expérience est l'une d'entre elles mais n'est pas la seule : « *Il (l'élève) cherche en s'appuyant sur : une observation (dans la nature, en laboratoire ...), une recherche documentaire, une expérience, une modélisation, une simulation...* » La réalisation d'un protocole expérimental n'est donc pas la seule activité scientifique permettant de répondre à un problème. D'autre part « *l'observation (dans la nature, au laboratoire...)* » peut être une activité dans la phase de résolution et n'est plus cantonnée à la phase initiale de la recherche.

Au lycée, l'unité d'analyse décrivant les étapes de la démarche d'investigation donne le choix au moment de la mise à l'épreuve des hypothèses entre « *la conception d'une stratégie de résolution ou d'un protocole* ». Cela laisserait entendre également que l'expérience n'est pas un passage obligé de l'activité scientifique.

Dans les ressources pour le collège, la formulation plus ouverte que nous avons repérée plus haut, peut être un canevas pour la résolution d'un problème de science historique mais cela est rendu possible plutôt par manque d'explicitation des énoncés que par une reconnaissance affirmée de l'existence d'une science qui se tient hors du champ de la validation expérimentale.

Dans le préambule du lycée la démarche d'investigation est, dans une unité d'analyse, définie comme une suite d'étapes types qui, dans notre recherche d'explicitation, relève d'une méthodologie scientifique commune aux deux pôles, historique et fonctionnaliste : « *formulation d'une problématique* », « *l'énoncé d'une stratégie pour éprouver les hypothèses* », « *mise en oeuvre d'un projet* », « *confrontation des résultats et des hypothèses* ». Ces étapes, ainsi formulées, peuvent faire partie intégrante d'une démarche hypothético-déductive au sein d'une science fonctionnaliste mais également d'une démarche comparatiste au sein d'une science historique.

Cependant les phrases accompagnant et explicitant davantage la démarche d'investigation oriente l'activité scientifique en direction de l'activité expérimentale : « *L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats.* » et « *Ainsi l'élève doit pouvoir mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser des mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée.* » L'activité est d'emblée qualifiée d'« *expérimentale* », le terme « *stratégie* » est remplacé par le terme « *protocole* » qui doit comporter des « *expériences* ». Nous sommes là aussi dans le champ sémantique des sciences fonctionnalistes. La dernière phrase de cette partie consacrée à la démarche d'investigation resserre le lien entre démarche d'investigation et démarche expérimentale : « *Cette démarche (d'investigation) constitue le cadre intellectuel approprié pour la mise en œuvre d'activités de laboratoires, notamment manipulatoires et expérimentales, indispensables à la construction des savoirs de la discipline.* »

D'autres unités d'analyse limitent l'application de la démarche d'investigation en précisant que tous les objets d'étude ne se prêtent pas à sa mise en œuvre et qu'elle n'est pas un canevas qui aurait la « *prétention de définir « la » méthode d'enseignement ni celle de figer de façon exhaustive un déroulement imposé.* » Cependant, la seule option proposée en dehors de la démarche d'investigation est : « *l'exposé* » pour les sujets non pertinents pour une démarche d'investigation. Mais là aussi aucune explicitation n'est proposée pour ces objets « *impertinents* ».

Nous présentons maintenant les unités d'analyse portant sur les les démarches d'enseignement qui ne portent pas sur la DI.

Source	Unités d'analyse portant sur les démarches d'enseignement (hors DI)	Pôle historique	Pôle fonctionnaliste
Intro collège	L'échange argumenté autour des propositions élaborées : - communication au sein de la classe des solutions élaborées, des réponses apportées, des résultats obtenus, des interrogations qui demeurent ; - confrontation des propositions, débat autour de leur validité, recherche d'arguments ; en mathématiques, cet échange peut se terminer par le constat qu'il existe plusieurs voies pour parvenir au résultat attendu et par l'élaboration collective de preuves.		
Intro collège	La représentation du monde ne se réduit pas à une description de celui-ci dans l'espace. Elle devient cohérente en y adjoignant celle de son évolution dans le temps. Ici encore, ce sont les outils mis en place dans l'enseignement des mathématiques qui permettent de comparer les échelles de temps appropriées : géologique, historique et humaine et d'étudier divers aspects quantitatifs de cette évolution (graphiques, taux de croissance...).	évolution dans le temps	
Intro collège	Le recueil de données en grand nombre et la variabilité de la mesure sont deux modes d'utilisation des outils de statistique descriptive qui peuvent être particulièrement mis en valeur.		
Intro collège	Mais ces données recueillies à l'échelle de la classe ne suffisent pas pour passer au stade de la généralisation et il est nécessaire de confronter ces résultats à d'autres réalisés en plus grand nombre, pour valider l'hypothèse qui sous-tend l'observation ou l'expérience réalisée.	confronter ces résultats à d'autres réalisés en grand nombre	
Intro collège	Tout particulièrement dans le domaine des sciences de la vie, de nombreux objets d'étude favorisent cette forme de mise en œuvre d'un mode de pensée statistique : la répartition des êtres vivants et les caractéristiques du milieu, la durée moyenne des règles et la période moyenne de l'ovulation, les anomalies chromosomiques. Les résultats statistiques permettent d'élaborer des hypothèses sur une relation entre deux faits d'observation et d'en tirer une conclusion pour pouvoir effectuer une prévision sur des risques encourus, par exemple en ce qui concerne la santé.		
Intro lycée	L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats.		X
Intro lycée	Ainsi l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser des mesures, en estimer la précision et écrire des résultats de façon adaptée		X

Source	Unités d'analyse portant sur les démarches d'enseignement (hors DI)	Pôle historique	Pôle fonctionnaliste
Intro lycée	La poursuite des objectifs de formation méthodologique implique généralement que l'on mette en œuvre une pédagogie active, au cours de laquelle l'élève participe à l'élaboration d'un projet et à la construction de son savoir		
Intro lycée	L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps, sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction, avec ses avancées et éventuelles régressions		
Intro collège	Dans le domaine des sciences expérimentales et de la technologie, chaque fois qu'elles sont possibles, matériellement et déontologiquement, l'observation, l'expérimentation ou l'action directe par les élèves sur le réel doivent être privilégiées.		
Intro lycée	Échanges et débats conduisent ensuite à tirer des conclusions plus générales que l'étude collective d'un exemple unique ne le permettrait		

Tableau 49 : unités d'analyse portant sur les méthodes d'enseignement ne se référant pas à la DI

Commentaires

Dans les énoncés portant sur les démarches ou activités d'enseignement ne se référant pas directement à la DI nous trouvons dans les textes au lycée deux énoncés portant sur les pratiques des sciences fonctionnalistes.

Cependant une autre alternative à la démarche d'investigation versus expérimentale est proposée aussi bien au collège qu'au lycée. « *L'approche historique d'une question scientifique peut être une manière originale de construire une démarche d'investigation.* » Il s'agit d'aborder « *l'histoire de l'élaboration d'une connaissance historique...* ». L'approche historique signifie, à la lecture des explicitations, l'intégration d'éléments d'histoire des sciences dans les démarches d'enseignement. Plusieurs objectifs sont attendus de cet apport de l'histoire des sciences (nouveau des programmes de 2010) : « *La réflexion sur ce qu'est une science : en travaillant sur la démarche ; en soulignant l'importance des débats, des controverses, des conflits... dans la production des théories scientifiques qui sont soumises à des entreprises de réfutation ; en soulignant l'importance des tâtonnements scientifiques ; en relativisant les acquis ; en réfléchissant aux aspects éthiques, à la signification du progrès scientifique...* » (ressources collège) ; « *L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps,*

sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction, avec ses avancées et éventuelles régressions » (préambule lycée)

Nous percevons à travers ces assertions qu'intégrer l'histoire des sciences dans les démarches d'enseignement répond à un réel souci de faire acquérir aux élèves des éléments d'épistémologie des sciences en ouvrant la réflexion sur la construction des savoirs scientifiques. Cependant cette ambition ne peut faire l'impasse sur la nature différente des objets scientifiques étudiés en SVT et ne peut être efficiente si les activités plébiscitées en classe sont seulement ou très majoritairement expérimentales et correspondant aux seules sciences fonctionnalistes. Dans les ressources pour le collège des exemples sont proposés pour mener ces démarches qui s'appuie sur l'histoire des sciences. Tous les thèmes présentés sont des thèmes fonctionnalistes : la circulation sanguine, la digestion, la reproduction humaine, la théorie de la tectonique des plaques.²⁰... Il nous semble cependant possible d'enseigner des éléments d'histoire des sciences à partir d'exemple tirés des sciences historiques.

Concernant les pratiques des sciences historiques nous trouvons dans ces énoncés des modes de raisonnement qui sans être spécifiques aux sciences historiques relèvent de ce champ scientifique.

Le mode de pensée statistique : il est abordé essentiellement dans le cadre des mathématiques (variabilité des mesures) mais il est aujourd'hui une approche de plus en plus présente dans les sciences du vivant et notamment dans le cadre de la phylogénie quand elle est réalisée selon la méthode bayésienne.

La pensée inductive : les assertions sur le mode de pensée statistique conduisent à des énoncés qui décrivent sans le nommer le raisonnement inductif : *« Mais ces données recueillies à l'échelle de la classe ne suffisent pas pour passer au stade de la généralisation et il est nécessaire de confronter ces résultats à d'autres réalisés en plus grand nombre, pour valider l'hypothèse qui sous-tend l'observation ou l'expérience réalisée. »*. Il est question ici de compiler de nombreux résultats afin de ne pas faire de « généralisations abusives » (Bachelard, 1938). Ce type de raisonnement et ce mode de validation basée sur l'accumulation de données convergentes sont à l'œuvre dans les problèmes des sciences historiques .

²⁰ Ressources pour les classes de 6e, 5e, 4e et 3e du collège-principes généraux (2009), p. 10

Conclusion

L'analyse des instructions officielles nous conduit à relever un certain nombre de contradictions ou du moins d'incohérence si l'on cherche à articuler les objectifs de l'enseignement des sciences et les moyens préconisés pour les atteindre.

Nous notons tout d'abord des problèmes de définition concernant les différentes démarches citées. Ainsi la démarche d'investigation est parfois clairement présentée comme une démarche d'enseignement des sciences particulièrement adaptée à cet enseignement par son adéquation avec une pédagogie active. Elle peut alors être comprise comme un canevas d'abord pédagogique et modulable selon les objets étudiés. Dans ce cas la nature des objets d'étude ne doit pas intervenir dans la possibilité de son application. Mais des unités d'analyse démentent cette définition puisqu'il est également précisé qu'elle ne s'applique pas à tous les objets d'étude et que c'est à l'enseignant de déterminer quand elle est pertinente. Nous avons du mal à cerner la nature de cette démarche d'investigation puisqu'elle est définie parfois par rapport à un cadre pédagogique mais parfois par rapport à la nature des objets qu'elle investit.

De la même manière, la démarcation entre démarche d'investigation, démarche expérimentale et démarche scientifique est floue. Certaines unités d'analyse (nombreuses) laissent penser que la démarche scientifique est tout à fait synonyme de « démarche expérimentale » (avec une importance extrême accordée aux données empiriques) et que les sciences du vivant et les sciences de la Terre font entièrement partie des sciences expérimentales (dans le sens de sciences fonctionnalistes). La démarche d'investigation serait donc la démarche d'enseignement des sciences expérimentales. Mais d'autres unités d'analyse apportent des limites (peu nombreuses) en ouvrant, au-delà de l'expérimentation, la pratique scientifique.

L'ensemble de ces énoncés concernant la démarche d'investigation laisse parfois dans l'expectative. Nous retenons cependant que la démarche d'investigation, présentée dans ces textes comme la démarche d'enseignement principale, est fortement orientée vers une démarche hypothético-déductive tournée vers l'expérimental qui est celle des sciences fonctionnalistes. Elle est donc présentée selon le contexte comme une démarche d'enseignement ou/et comme une démarche scientifique. Des ouvertures sémantiques peuvent laisser la place à des démarches des sciences historiques mais les énoncés correspondants souffrent d'un « flou » scientifique et sémantique qui n'expose pas

réellement les modalités des sciences historiques du point de vue des objets, des raisonnements mis en œuvre et des modes de validation autant qu'elles le font pour les sciences fonctionnalistes. Dans le même sens, nous avons vu que la référence à la temporalité du vivant ou de la Terre est très ponctuelle dans ces textes ainsi que la référence à la contingence que nous n'avons pas trouvée dans les instructions officielles. Nous pensons que ces textes ne permettraient pas à des enseignants, sans bagage épistémologique suffisant, d'entrer dans la réflexion sur des démarches d'enseignement d'objets des sciences historiques et notamment sur la construction de problèmes dans ce champ scientifique.

Si nous nous référons aux objectifs de l'enseignement des sciences qui préconisent l'acquisition de connaissances épistémologiques, il apparaît que les moyens proposés par l'institution scolaire permettent au mieux d'investir le champ des sciences fonctionnalistes mais peu celui des sciences historiques. En focalisant ainsi sur les pratiques des sciences fonctionnalistes, l'institution scolaire ne se donne pas réellement les moyens de ses ambitions en terme de connaissances épistémologiques étendues.

Dans ce contexte, l'enseignement de l'évolution dans toutes ses dimensions devient problématique. Et pourtant cet enseignement est inscrit dans les programmes du collège et du lycée. Son importance est rappelée à plusieurs reprises dans les documents d'accompagnement : « *Une place importante laissée à la thématique de l'évolution. Il s'agit, selon les moments, soit d'un sujet d'étude en tant que tel, soit d'un outil explicatif indispensable pour comprendre la biologie en général* » (ressources générales de seconde et de première S)

Dans le socle commun de compétences, il est indiqué que l'élève doit connaître les « *caractéristiques du vivant* » qui sont déclinées en plusieurs points avec notamment un item intitulé : « *l'évolution des espèces* ».

Il existe donc un paradoxe entre la nécessité d'enseigner l'évolution et la mise en œuvre des pratiques des seules sciences fonctionnalistes.

III. Les sciences historiques dans les programmes scolaires

Introduction

Devant ces intentions paradoxales qui, d'un côté rappellent l'importance et la nécessité d'enseigner l'évolution, et de l'autre passent sous silence le versant historique des sciences

de l'évolution, nous poursuivons notre analyse en allant au plus près des programmes en focalisant sur les chapitres de l'évolution appartenant au champ des sciences historiques.

Si l'on peut comprendre que les textes d'introduction et les ressources des programmes puissent atteindre à un certain degré de généralité, nous pouvons espérer que les parties des programmes portant spécifiquement sur des objets des sciences historiques convoquent et explicitent davantage les pratiques des sciences historiques. Nous nous proposons d'analyser les textes des programmes portant sur un de ces objets : la parenté entre les êtres vivants (EV). Ce choix repose également sur une présence importante dans les programmes. La parenté entre les EV est enseignée de la sixième à la troisième, puis en seconde, première S, ES, L et en terminale S (tronc commun). Les programmes scolaires sur la parenté sont plus ou moins développés selon les années mais le corpus (programme *sensu stricto* des niveaux correspondants et leurs ressources d'accompagnement) est suffisamment étayé pour notre étude.

L'analyse que nous menons consiste à mettre en regard les parties de programme portant sur la parenté entre les EV avec le cadre scientifique et épistémologique que nous avons présenté pour repérer si l'enseignement de la parenté est mis en œuvre dans le cadre épistémologique des sciences historiques.

III. 1. La parenté entre les êtres vivants : un objet des sciences historiques

III. 1. 1. La systématique phylogénétique ou cladistique

La parenté entre les EV dans le cadre de la phylogénie est un objet d'étude qui mobilise pleinement les modalités des sciences historiques : l'observation de l'unité du monde vivant au niveau moléculaire (universalité du code génétique), cellulaire et à l'échelle des organismes conduit à inférer l'origine commune du monde vivant, événement singulier et historiquement situé. Par voie de conséquence l'ensemble des êtres vivants, issu de cet événement originel par les propriétés de reproduction et d'hérédité du vivant, sont tous apparentés mais à des degrés divers. Considérer que les tous les êtres vivants sont apparentés est donc le résultat d'une inférence inductive. Nous appellerons, dans la suite de notre exposé, cette parenté de l'ensemble des êtres vivants « la parenté globale ».

La phylogénie est la discipline scientifique actuelle qui se donne pour objectif de préciser les degrés d'apparentement des êtres vivants en construisant une classification phylogénétique. Nous devons le développement de la cladistique à Willi Hennig dont les

travaux dans les années 50 ont profondément remodelé les concepts et les pratiques du champ de la systématique. Son ouvrage majeur publié en allemand en 1950, et traduit en anglais en 1966, posera les bases d'une nouvelle systématique (Hennig, 1966). Il est important de préciser qu'élaborer une classification phylogénétique pour un échantillon d'espèce présuppose que l'on se place dans le cadre évolutif c'est-à-dire que la parenté globale soit admise comme un postulat de l'activité phylogénétique. Dit autrement reconstituer des apparentements entre espèce présuppose que ces espèces soient globalement toutes apparentées. En aucun cas une classification phylogénétique ne peut conduire à valider la parenté globale des êtres vivants qui est la conséquence de l'origine commune du vivant.

La classification phylogénétique est formalisée par la construction d'arbres phylogénétiques selon une méthodologie éprouvée qui aboutit à une proposition des parentés au sein d'un échantillon d'espèces. La validité de ces arbres n'est pas absolue c'est-à-dire qu'un arbre phylogénétique ne peut être un arbre « vrai » mais seulement l'arbre le plus probable puisque le fil historique de la parenté réelle est inaccessible. Comme le dit Guillaume Lecointre :

« Cette méthode de reconstitution des branchements évolutifs et des degrés de parenté, propose le scénario le plus probable au vu des données actuelles basées sur l'analyse des caractères des individus et c'est la cohérence de l'ensemble des résultats accumulés qui en assure la validité » (Lecointre, 2009, p.67).

Par son mode de validation (mise en cohérence d'un grand nombre de données) et par le type de raisonnements mobilisés (induction, abduction) la classification phylogénétique s'inscrit pleinement dans la méthodologie des sciences historiques.

Dans l'approche cladistique on postule que le partage de certains caractères est le témoin actuel des processus évolutifs et que ces caractères sont hérités d'ancêtres communs exclusifs. Ce raisonnement scientifique fait appel à l'inférence par abduction (on remonte de l'effet à la cause probable). La répartition actuelle des caractères des individus est un effet d'une cause probable : la descendance avec modification depuis l'origine commune des êtres vivants. La méthode cladistique permet d'établir des parentés au sein d'un échantillon d'espèces sur le seul critère du partage de caractères homologues à l'état dérivé. Ce partage fonde l'appartenance à un clade (= groupe monophylétique) et les caractères à l'état dérivé sont hérités d'un ancêtre commun hypothétique chez qui l'innovation est apparue en premier. Le principe méthodologique de parcimonie ou de congruence est

l'arbitre final dans le choix de l'arbre : c'est l'arbre présentant le moins d'événements évolutifs qui est validé. Les cladogrammes obtenus donnent des informations sur les apparentements entre les espèces de l'échantillon testé mais ne représentent en aucun cas une généalogie. Toutes les espèces sont présentées sur le même niveau et les ancêtres communs sont hypothétiques. Le cladogramme ne donne pas d'emblée d'information sur la chronologie absolue des événements évolutifs. Le cladogramme répond à la question de « qui est plus proche parent de qui » et non pas « qui descend de qui ? » (Lecointre 2009).

III. 1. 2. La phénétique

La phénétique se donne pour objectif de mesurer un degré de ressemblances globale entre des organismes ou des caractères (morphologiques ou moléculaires). Elle conduit à la construction d'un phénogramme dont les branches sont proportionnelles à la distance mesurée entre les caractères. Strictement, la méthode phénétique n'a pas pour objectif d'établir la parenté entre les espèces mais de mesurer le degré de similitude entre les espèces et de les classer sur ce critère.

III. 2. La parenté dans les programmes de SVT

Les programmes actuels du secondaire font le choix d'enseigner la parenté entre les EV par la méthode cladistique et la méthode phénétique. Dans l'enseignement du collège seule l'approche cladistique est abordée. Au lycée, les deux méthodes sont utilisées.

III. 2. 1. Méthodologie

III. 2. 1. 1. Corpus

Nous relevons l'ensemble des énoncés des programmes de SVT qui portent sur la parenté entre êtres vivants. Nous les présentons sous forme de tableaux similaires à ceux de l'institution. Dans ces tableaux, les « connaissances » et les « activités » sont présentées dans deux colonnes séparées. Nous utilisons en complément les énoncés présents dans les ressources des programmes et qui en explicitent certains passages. Nous les citons uniquement dans la partie « analyse » quand nous les mobilisons.

III. 2. 1. 1. Traitement des données

Nous poursuivons dans les programmes de SVT du collège et du lycée notre recherche d'éléments spécifiques des sciences historiques (raisonnements mis en œuvre, modalité de la preuve, temporalité, contingence) par le biais de l'enseignement de la parenté. La

systematique phylogénétique permet d'en aborder certains.

Nous pouvons observer comment le cadre évolutif est mobilisé dans ces textes. Est-il présenté comme issu d'une inférence inductive ? Est-il un présupposé dans les activités de construction des arbres ?

Nous pouvons repérer comment la validation des arbres est présentée. Est-elle bien le résultat d'une mise en cohérence d'un grand nombre de données ? L'arbre est-il présenté comme vraisemblable ou vrai ?

Nous analysons les textes programmatiques à l'aide de ces deux indicateurs d'analyse qui nous permettent de pointer la cohérence des programmes sur la parenté avec des éléments de l'épistémologie de référence, celle des sciences historiques.

III. 2.2. Analyses des programmes du secondaire sur la parenté

III. 2. 2. 1. La parenté dans les programmes du collège.

Nous commençons par l'analyse des programmes du collège en tant qu'ils présentent une cohérence interne qui conduit de la classification des êtres vivants, étudiées de la sixième à la quatrième, au concept d'évolution en classe de troisième : « *Cette classification aura « préparé le terrain » car elle sera compatible avec le concept d'évolution qui sera abordé en classe de troisième.* » (ressources sixième) Nous présentons dans le tableau n° 50 les énoncés de programme concernant la parenté entre les EV. Dans l'analyse qui suivra nous nous référerons également au contenu des ressources du collège qui contiennent des éléments d'explicitation sur certains points du programme.

Niveau scolaire	Connaissances	Capacités
6ème : diversité, parentés et unité des êtres vivants	Les organismes vivants sont classés en groupes emboîtés définis uniquement à partir des attributs qu'ils possèdent en commun. Ces attributs définis par les scientifiques permettent de situer des organismes vivants dans la classification actuelle.	Observer, recenser et organiser l'information utile afin de déterminer un organisme vivant à partir d'une clé de détermination. Observer, recenser et organiser l'information utile afin de créer des groupes emboîtés dans la classification. Observer, recenser et organiser l'information utile afin de replacer un organisme vivant de l'environnement proche dans la classification actuelle.
5ème : géologie externe : évolution des paysages	Les roches sédimentaires peuvent contenir des fossiles : traces ou restes d'organismes ayant vécu dans le passé.	Observer, recenser et organiser des informations afin de placer un organisme fossile dans la classification
4ème : reproduction sexuée et maintien des espèces dans le milieu		Observer, recenser et organiser des informations afin de placer un organisme vivant dans la classification
3ème : évolution des organismes vivants et histoire de la Terre	Les espèces qui constituent ces groupes, apparaissent et disparaissent au cours des temps géologiques. Leur comparaison conduit à imaginer entre elles une parenté, qui s'explique par l'évolution.	Observer, recenser et organiser des informations afin d'établir une relation de parenté entre les espèces.

Tableau n°50 : les énoncés des programmes sur la parenté au collège

Commentaires

« L'objectif au collège est de découvrir et d'utiliser la classification actuellement retenue par les scientifiques, qui traduit l'histoire évolutive, les relations de parenté entre les organismes vivants. » Cette phrase d'introduction explicite l'ambition des programmeurs : l'élève doit connaître et apprendre à utiliser la classification établie par les scientifiques. Jusqu'en classe de quatrième il faut entendre le terme « connaître » dans le sens de « prendre acte de l'existence de » et non pas « comprendre les fondements de » car il est spécifié que l'ancrage de la classification dans l'évolution ne doit pas être abordé avant la classe de troisième. En effet, le préalable de l'évolution dans la classification phylogénétique est volontairement occulté dans la mise en œuvre des programmes de la sixième à la quatrième. « L'objectif essentiel de la classification au collège est de sensibiliser à l'idée d'évolution qui sera développée ultérieurement. Cependant il ne s'agit

pas en classe de sixième (ni de cinquième, ni de quatrième) d'aller jusqu'à l'interprétation de cette classification en termes de relation de parentés, mais de regrouper les organismes vivants en fonction d'attributs qu'ils partagent. » (ressources sixième) La stratégie pédagogique choisie pour l'enseignement de la parenté au collège consiste ainsi à débiter par l'élaboration (guidée) de groupes emboîtés à partir d'échantillons choisis par l'enseignant qui doit faire preuve d'une « grande vigilance » pour ne pas introduire d'échantillon problématique. La consigne donnée aux élèves est de regrouper ensemble les espèces qui partagent des attributs communs. Ces attributs sont « choisis par les scientifiques » et ils permettent de situer les « organismes vivants dans la classification actuelle ». Aucune référence à l'évolution ne doit être faite avant la classe de troisième et l'interprétation de la classification construite en classe ne doit pas l'être en terme de « relations de parenté ». En classe de cinquième et de quatrième les élèves doivent placer les espèces rencontrées dans la classification débutée en sixième. En classe de cinquième, il s'agit de placer des espèces fossiles dans la classification ce qui permet de poser des « jalons importants » en vue de « construire le concept d'évolution ». C'est seulement en classe de troisième que la classification élaborée sera replacée dans son cadre évolutif.

III. 2. 1. 1. 2. De la classe de sixième à la classe de quatrième

La progression proposée jusqu'en quatrième rend délicate l'utilisation de nos indicateurs d'analyse car la classification est enseignée dans son aspect manipulatoire sans mobiliser ses fondements théoriques c'est-à-dire en la déconnectant de l'évolution et de la parenté. C'est au niveau de la troisième que des explicitations plus fournies sont produites et permettent d'affiner notre analyse.

Cependant, et nous pouvons dire par défaut, les activités de classification proposées jusqu'en classe de quatrième, en restant silencieuses sur le cadre évolutif et la signification de l'homologie, rendent impossible le questionnement sur la validité des groupes ou des arbres construits et risquent de conduire les élèves à regarder les classifications obtenues comme « vraies » et non pas vraisemblables (ou très fortement probables) puisqu'elles sont le résultat d'une méthode balisée fortement par l'enseignant (les échantillons d'espèces et les caractères retenus choisis pour ne pas poser de problème de rangement) et qui aboutit toujours à une seule classification.

La complexité de l'approche phylogénétique peut expliquer en partie la prudence de l'institution vis à vis de son enseignement dans les classes de collège mais la réponse

apportée, en proposant pendant trois années de placer des espèces dans une classification clé en main sans poser de jalons épistémologiques, réduit la classification phylogénétique à une activité de « *rangement domestique* » (Orange Ravachol, 2007) et n'offre pas la possibilité de discuter la validité des groupes ou des arbres. L'intitulé des capacités à mobiliser jusqu'en quatrième, « *Observer, recenser et organiser l'information utile afin de placer un organisme dans la classification* », montre que l'accent est mis uniquement sur l'aspect manipulateur dans les activités des élèves : à partir de données empiriques triées par avance ils placent l'organisme étudié dans la classification pré-établie en suivant la règle dictée par l'enseignant. Mais nous pouvons nous interroger sur la possibilité de repérer dans un cadre aussi contraint « l'information utile » car aucune n'est inutile, les caractères et leurs polarisations étant déterminés par avance. Ces activités de classement, sans référence à l'explication évolutive, pourraient cependant permettre d'entrer dans une démarche nominaliste (qui s'oppose ici à l'essentialisme) à condition que le choix des caractères et leur traitement soit le résultat d'une problématisation et donc le fait des élèves.

III. 2. 1. 1. 2. En classe de troisième

Comment les activités de classification, réalisées de la sixième à la quatrième, sont-elles reconnectées en classe de troisième avec l'évolution ? Cette intention programmatique est clairement résumée dans les textes de ressources de la classe de sixième : « *Cette classification « aura préparé le terrain » car elle sera compatible avec le concept d'évolution qui sera abordé en classe de troisième.* » Que signifie « *préparer le terrain* » ? L'analyse des textes du programme de troisième, qui explicitent les modalités de ce passage, met en lumière des placements épistémologiques hasardeux de la classification par rapport à l'évolution et à la parenté. Nous relevons deux écueils principaux dans les propositions de ces textes.

1er écueil : L'utilisation de la classification comme « justification » de l'évolution.

D'après les objectifs scientifiques, l'élève de troisième doit d'abord « *atteindre un premier niveau de formulation de la théorie de l'évolution des organismes vivants au cours des temps géologiques présentée sous la forme d'un arbre unique.* » puis il doit aussi : « *montrer que la classification scientifique actuelle se fonde sur la théorie de l'évolution.* » Le statut de l'arbre n'est pas le même dans ces deux assertions. Dans la première, l'arbre « unique » est la représentation de l'évolution des organismes au cours des temps géologiques (appelé parfois « arbre évolutif »). Cet arbre ne peut être un arbre

phylogénétique (qui n'a pas vocation à représenter le cours réel de la succession des organismes) mais la confusion est possible entre « l'arbre unique » et l'arbre de la classification actuelle .

Dans la seconde proposition l'arbre phylogénétique (et la parenté qui le sous-tend) vient en conséquence de la théorie de l'évolution et spécialement de l'origine commune ce qui est épistémologiquement correct. Mais, en supposant une confusion entre arbre « unique » et arbre « phylogénétique », ces deux propositions mises bout à bout conduisent à un raisonnement tautologique : « l'arbre unique identifié à la théorie de l'évolution se fonde... sur la théorie de l'évolution. »

Dans la partie connaissance du programme de troisième c'est la seconde position qui est énoncée : « *Les espèces qui constituent ces groupes, apparaissent et disparaissent au cours des temps géologiques. Leur comparaison conduit à imaginer entre elles une parenté, qui s'explique par l'évolution.* » Dans cette proposition la parenté est placée dans un raisonnement inductif (« conduit à imaginer ») en tant qu'elle est postulée à partir de l'observation des groupes d'espèces et de leur ressemblances et que sa validité est assurée par le cadre évolutif (et spécialement celui de l'ascendance commune). Dans cette proposition la théorie de l'évolution précède à juste titre la parenté qui en est la conséquence. Nous sommes dans un raisonnement inductif qui pose correctement le cadre évolutif comme préalable à la parenté.

Cependant, dans les ressources pour la classe de troisième le positionnement de la parenté est à nouveau différent et inversé :

« L'évolution ne doit pas être enseignée de manière dogmatique, mais étayée par un ensemble de faits scientifiques étudiés par l'élève. En classe de troisième les faits retenus sont les suivants :

-le partage d'attributs communs entre des espèces plus ou moins apparentées, qu'elles soient actuelles ou fossiles (par exemple la comparaison du squelette des membres de plusieurs vertébrés)

-la cellule, unité du vivant

-l'universalité de la molécule d'ADN, support de l'information génétique. »

Dans cette formulation, la parenté est listée comme un fait scientifique qui peut venir étayer la théorie de l'évolution ce qui est incorrect épistémologiquement : l'interprétation, en terme de parenté, du partage d'attributs communs nécessite d'être déjà dans le cadre évolutif (et spécialement dans celui de l'origine commune). Nous trouvons là une inversion

épistémologique qui conduit à utiliser la parenté comme un fait pouvant corroborer l'évolution et qui vient en contradiction de la proposition précédente. En effet positionner la parenté comme un fait scientifique modifie son statut épistémologique notamment quant au mode de validation de la preuve car si la parenté entre les EV est considérée comme un fait qui permet d'étayer la théorie de l'évolution, les arbres phylogénétiques pourraient très bien être compris comme des arguments voire des « preuves » de l'évolution.

Ces énoncés mettent en évidence une contradiction en ce qui concerne la connexion entre la parenté et l'évolution : parfois la parenté est présentée comme un argument permettant de postuler l'évolution, parfois la parenté est la conséquence de l'évolution et spécialement de l'origine commune. D'un point de vue épistémologique ces positions sont incompatibles.

L'analyse des activités prescrites aux élèves de troisième nous fournit une piste d'explication de ces positionnements incompatibles de la parenté vis à vis du cadre évolutif. L'ambivalence de la relation parenté-évolution présente dans ces textes pourrait avoir comme origine une synonymie implicite entre « la ressemblance des organismes » et leur « parenté ».

Toutes les prescriptions d'activités concernant la classification et la parenté au collège commencent par la formulation : « *observer, recenser et organiser des informations...* ». L'élève collecte des données empiriques (repérage d'attributs communs) et les organise pour placer l'espèce étudiée dans la classification. Avant la classe de troisième la classification n'est pas interprétée en terme de parenté et ces énoncés d'activités ne posent pas de problème particulier.

Mais en classe de troisième l'intitulé devient plus ambitieux : « *observer, recenser et organiser l'information pour établir une relation de parenté entre les espèces.* » Or comme nous l'avons expliqué précédemment établir une relation de parenté nécessite davantage que d'organiser des données empiriques. Le passage théorique nécessaire entre ressemblances et parenté n'est cependant pas explicité dans ces énoncés et la formulation utilisée laisse penser que l'on peut passer quasi directement de l'observation de la ressemblance des organismes à leur parenté. Ce serait là une erreur conceptuelle majeure car cela ressemblerait à un lien déductif : ressemblance donc parenté.

Or, et c'est là un point essentiel, si nous pouvons observer des ressemblances entre des

organismes, il est impossible d'observer la parenté entre les EV. Le passage de la ressemblance (partage d'attributs) à la parenté (ascendance commune historiquement située) nécessite une réflexion théorique qui s'inscrit dans un raisonnement inductif et mobilise le cadre de la théorie de l'évolution. La parenté ne peut donc être envisagée comme un fait scientifique d'observation alors que la ressemblance entre les organismes peut s'observer. Nous avons déjà relevé l'importance accordée aux activités d'observation dans les préambules et introductions des programmes du collège et du lycée et nous pointons ici peut-être un excès de ce tropisme institutionnel vers l'observable, pris en défaut dans le cas d'un objet inobservable, la parenté.

2nd écueil : La superposition du temps symbolique d'un arbre phylogénétique et le temps chronologique de l'histoire de la vie.

La proposition suivante, tirée des ressources pour la classe de troisième, révèle un placement inadéquat des fossiles dans un arbre phylogénétique. « *Au cours de cette partie, on peut donc passer de la représentation en groupes emboîtés à des arbres d'apparement des espèces. La dimension temporelle permet de passer à un arbre phylogénétique, dans lequel les fossiles jalonnent les innovations. On s'attache à mettre l'élève en situation de découvrir ces innovations à partir de formes fossiles situées dans l'échelle stratigraphique.* »

Dans un arbre phylogénétique, le rapport au temps est particulier. La forme de l'arbre, (graphique connexe non cyclique) ponctuée d'ancêtres communs hypothétiques qui se succèdent et sa racine unique, symbolise un passé évolutif mais pas la temporalité historique réelle. La raison en est qu'un arbre répond à la question « qui est plus parent de qui ? » et pas « qui descend de qui ? » (= arbre généalogique). C'est d'ailleurs un des enjeux principaux de la phylogénie de ne pas chercher à identifier les ancêtres communs (puisqu'ils sont fondamentalement inaccessibles et inconnaisables) à des fossiles connus et c'est pour cette raison que les taxons, fossiles ou actuels, sont placés sur une même ligne, sans relations d'ancêtres à descendants, donc sans relation chronologique réelle. Dans l'item « *la dimension temporelle permet de passer à un arbre phylogénétique dans lequel les fossiles jalonnent les innovations.* » ce fondement de la phylogénie est mis en défaut ce qui conduit à formuler une proposition qui n'a pas de sens : si un arbre est construit avec des fossiles identifiés comme ancêtres communs porteur d'innovations alors ce n'est pas un arbre phylogénétique.

D'autre part il est précisé : « *on s'attache à mettre l'élève en situation de découvrir ces innovations à partir de formes fossiles situées dans l'échelle stratigraphique.* » Vouloir associer ancêtre commun et fossiles conduit également à juxtaposer une échelle des temps géologiques avec le temps symbolique d'un arbre phylogénétique ce qui rend confus la signification d'un arbre phylogénétique. Là aussi, nous voyons dans cette proposition la volonté des programmeurs de porter essentiellement l'attention sur l'observation, en l'occurrence celle des fossiles, quitte à être moins ambitieux et rigoureux sur leur placement temporel dans les arbres phylogénétiques.

III. 2. 1. 1. 3. Conclusion

Quand nous tentons d'expliquer les deux écueils que nous avons pointés, nous butons à chaque fois sur le rapport aux données empiriques (observation des attributs des organismes actuels et fossiles). Dans l'enseignement de la parenté, au cours des quatre années du collège, la priorité est donnée explicitement aux activités d'observation qui semblent suffire en elles-mêmes pour aborder la théorie de l'évolution. Ce parti pris conduit à des approximations et des confusions épistémologiques quant au statut de la parenté au sein du cadre évolutif et surtout il ne permet pas de construire correctement le concept d'évolution (comme il est attendu dans les prescriptions de troisième).

Concernant nos indicateurs d'analyse, placement du cadre évolutif, validité des arbres phylogénétiques, nous avons relevé des positions parfois contradictoires et des manques d'explicitation dans les textes programmatiques. Nous avons également repéré des ambiguïtés concernant le rapport au temps des arbres phylogénétiques.

Cette analyse nous renseigne également sur ce qui est plébiscitée par l'institution en lieu et place de ces modalités c'est-à-dire la manipulation et l'observation d'objets concrets. Cette tendance forte de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre et ses conséquences seront à discuter plus globalement après l'analyse des textes programmatiques du lycée.

III. 2. 2. 1. La parenté dans les programmes du lycée

Le concept de parenté est enseigné dans le thème 1 (La Terre dans l'univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée) des programmes de seconde et de terminale S, dans le thème 1 (la représentation visuelle) des classes de premières ES et L, ainsi que dans le thème 3 (génétique et santé) en première S. Nous analysons successivement ces items en retenant comme unités d'analyse l'ensemble des extraits se référant à la parenté entre les

êtres vivants.

III. 2. 2. 1. 1. En classe de seconde

Dans le programme de seconde la parenté est abordée dans deux items du thème 1 intitulés « *La nature du vivant* » et « *La biodiversité, résultat et étape de l'évolution* ». Nous travaillons successivement sur ces deux items et analysons l'ensemble des phrases du programme de seconde portant sur la parenté entre les êtres vivants. Nous cherchons toujours comment les modalités des sciences historiques sont convoquées dans ces textes. Nous analysons, avec cette grille, les phrases et expressions de la colonne « connaissances » et de la colonne « capacités » placées en parallèle de chacune des notions.

Unités d'analyse (colonne « connaissance s »)	Unités d'analyse (colonne « capacités et attitudes »)
L'unité chimique des êtres vivants est un indice de leur parenté.	Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la parenté chimique entre le vivant et le non vivant. Mettre en oeuvre un processus pour repérer quelques caractéristiques des molécules du vivant.
Cette unité structurale et fonctionnelle (des cellules) commune à tous les êtres vivants est un indice de leur parenté.	Comparer des ultra-structures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants.
L'universalité du rôle de l'ADN est un indice de leur parenté.	Manipuler, extraire et organiser des informations pour mettre en évidence l'universalité de l'ADN. Mettre en oeuvre une méthode permettant d'approcher la structure de l'ADN et la nature du message codé.

Tableau n° 51 : Unités d'analyse dans l'item « *la nature du vivant* » du programme de seconde
Discussion

Les énoncés de cet item sont écrits sous forme d'arguments abductifs. Le terme « *indice* » utilisé à trois reprises dans la partie « connaissances » renvoie en effet à une démarche abductive : la parenté entre les êtres vivants est l'explication la plus vraisemblable de l'unité du vivant au regard des faits répertoriés c'est-à-dire des ressemblances moléculaires et cellulaires repérées. Cependant, une étape de ce raisonnement correct est passée sous silence car les ressemblances moléculaires et cellulaires du vivant (notamment l'universalité de l'ADN) sont d'abord des indices de l'origine commune et unique des êtres vivants. Et s'il y a une origine commune et unique, les êtres vivants sont, par conséquence, tous apparentés. Malgré cet oubli dans

l'argumentation, la parenté est bien ici inférée à partir de données cellulaires et moléculaires universelles et non à partir de ressemblances morphologiques entre certaines espèces.

Cependant deux unités d'analyse de la colonne « capacités et attitudes » soulèvent deux problèmes, le premier d'ordre sémantique et le second d'ordre argumentatif.

Le terme « *parenté* » présent dans l'unité d'analyse « *Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations pour comprendre la parenté chimique entre le vivant et le non vivant.* » est employé dans un autre sens que celui de la filiation entre les êtres vivants. Il signifie ici la similitude ou la ressemblance entre les molécules du vivant et celles du non vivant. Nous retrouvons ici une synonymie que nous avons déjà soulignée à d'autres propos dans les textes du collège entre ressemblance et parenté. D'autre part et d'un point de vue notionnel nous pouvons également nous demander en quoi la « parenté » chimique entre vivant et non vivant est un argument de la parenté entre les êtres vivants, connaissance visée dans ce paragraphe ?

Dans l'activité « *Comparer des ultra-structures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants* » le terme « *illustrer* » pourrait être compris dans le sens de « montrer » la parenté. Or comme nous l'avons précisé auparavant celle-ci n'est pas « observable ». Ce qui est observable, ce sont les ressemblances entre les êtres vivants. Un autre item, présent lui dans les ressources pour la classe de seconde, et faisant partie d'une liste d'activités possibles pour cette partie du programme ne laisse pas de place à l'hésitation : « *Parenté des êtres vivants déduite de l'ultra structure des cellules : exploitation des photos numériques obtenues précédemment* ». Or, la parenté ne peut en aucun cas être « déduite » de la simple observation des ultra-structures cellulaires. De plus cette proposition vient en contradiction avec les items précédents dans lesquels la parenté est placée dans un cadre épistémologique adéquat.

Le sens de « parenté » est double dans ces textes. Elle est soit la « ressemblance » soit la « filiation ».

Unités d'analyse (colonne « connaissances »)	Unités d'analyse (colonne « capacités et attitudes »)
Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants.	Mettre en œuvre un protocole de dissections pour comparer l'organisation de quelques vertébrés.
Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune.	
Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.	Manipuler, recenser, extraire et organiser des informations sur l'organisation de quelques vertébrés actuels/fossiles.

Tableau n° 52 : Unités d'analyse dans l'item « la biodiversité, résultat et étape de l'évolution » du programme de seconde

Discussion

L'articulation par l'adverbe « *ainsi* » entre les deux premières unités d'analyse nous fait comprendre que l'expression « *les parentés* », présentée dans la première unité, est équivalente de l'expression « *organisation commune* » présente dans la seconde. Cette « *organisation commune* » renvoie clairement à la ressemblance morphologique entre les squelettes des vertébrés (qui est d'ailleurs l'activité correspondante proposée). La dernière unité d'analyse vient en appui de cette explication puisque l'expression « *les parentés d'organisation des espèces d'un groupe* » signifie clairement les ressemblances d'organisation des vertébrés.

Dans ce dernier item, le terme de parenté est utilisé dans le sens de ressemblance et non pas dans le sens de filiation ce qui n'est pas sans risque sur la compréhension des liens théoriques entre attributs observables, origine commune, et parenté globale du vivant.

Le terme de parenté est donc, dans ces deux items du programme, utilisé parfois dans le sens de ressemblance. Difficile, dans ce contexte, d'entrer dans les raisonnements inductifs et abductifs qui permettent de comprendre le lien entre parenté globale, cadre évolutif et parenté locale. Seules les activités d'observation des organismes sont convoquées dans ces parties du programme et les ressemblances décrites en terme de « parenté » créent une confusion importante puisqu'elles laissent la porte ouverte à l'idée que l'on peut observer les relations de parenté entre les êtres vivants alors qu'elles sont des constructions théoriques.

III. 2. 2. 1. 2. En classe de première

Unités d'analyse (colonne « connaissances »)	Unités d'analyse (colonne « capacités et attitudes »)
Les gènes des pigments rétiniens constituent une famille multigénique (issue de duplications) dont l'étude permet de placer l'Homme parmi les Primates.	Extraire et exploiter des informations (maquette, logiciel et/ou recherche documentaire et/ou observations microscopiques) pour : - comprendre l'organisation de la rétine ; - déterminer le rôle des photorécepteurs ; - comprendre l'organisation des voies visuelles ; - faire le lien entre la vision des couleurs et l'évolution

Tableau n° 53 : Unités d'analyse dans l'item « De l'œil au cerveau : quelques aspects de la vision » du programme de première S

Unités d'analyse (colonne « connaissances »)	Unités d'analyse (colonne « capacités et attitudes »)
L'étude comparée des pigments rétiniens permet de placer l'Homme parmi les Primates.	Justifier la place de l'Homme au sein des primates à partir de la comparaison des opsines ou des gènes les codant.

Tableau n° 54 : Unités d'analyse dans l'item « De l'œil au cerveau : quelques aspects de la vision » du programme de premières ES et L

Discussion

La partie du programme consacrée à la parenté est relativement courte en classe de première (ES, L ou S). C'est par la comparaison des pigments rétiniens que l'on doit placer l'Homme parmi les Primates et que l'on justifie cette place.

Dans les deux colonnes « connaissances » la formulation « *L'étude comparée des pigments rétiniens permet de placer l'Homme parmi les Primates* » est imprécise. S'agit-il de montrer que l'Homme fait partie des Primates ou bien de montrer le degré de parenté de l'Homme par rapport aux autres Primates dont l'Homme fait d'emblée partie dans l'analyse ? Si on ne travaille que sur des groupes de Primates alors l'arbre ne peut pas justifier l'appartenance aux Primates mais par contre il permet de situer l'Homme par rapport aux autres Primates.

D'autre part, en première ES/L, la justification attendue « *Justifier la place de l'Homme au sein des Primates à partir de la comparaison des opsines ou des gènes les codant.* » nous semble très ambitieuse (et impossible épistémologiquement) au regard des moyens proposés. L'utilisation d'une seule comparaison moléculaire ne permet pas de justifier, dans le sens fort, la place de l'Homme au sein des Primates. Cette étude ne permet que d'ajouter un résultat à des résultats similaires réalisées avec d'autres données moléculaires. C'est la

cohérence de l'ensemble de ces nombreux résultats qui permettra de valider la place de l'Homme à l'intérieur du groupe des Primates. Nous sommes là dans un mode de validation propre aux sciences historiques, la mise en cohérence maximum de données convergentes. Ce mode de validation aboutit au résultat le plus vraisemblable mais pas à un résultat « vrai » et définitif qui retracerait la phylogénèse réelle. Quels que soient les types d'arbre construits leurs résultats sont toujours vraisemblables et jamais des preuves absolues.

Les formulations très affirmatives utilisées dans ces textes entretiennent l'illusion qu'un arbre, construit à partir de la comparaison d'une seule molécule (présente chez plusieurs espèces) permet une conclusion (justificatrice) sur la place de l'Homme au sein des Primates. Sans précaution explicative entre la construction d'un arbre à partir d'une seule molécule et l'interprétation en terme de place de l'Homme parmi les Primates, le risque existe de confondre les modes de validation des sciences historiques et fonctionnalistes.

III. 2. 2. 1. 3. En classe de terminale S

C'est à ce niveau d'enseignement que les prescriptions sont les plus ambitieuses sur l'enseignement de la parenté et il est traité à travers l'exemple de la place de l'espèce humaine dans le groupes des Primates. Nous présentons l'intitulé complet de cette partie du programme de terminale S dans le tableau ci-dessous.

Introduction du programme : Homo sapiens peut être regardé, sur le plan évolutif, comme toute autre espèce. Il a une histoire évolutive et est en perpétuelle évolution. Cette histoire fait partie de celle, plus générale, des Primates	
Unités d'analyse (colonne « connaissances »)	Unités d'analyse (colonne « capacités et attitudes »)
<p>D'un point de vue génétique, l'Homme et le chimpanzé, très proches, se distinguent surtout par la position et la chronologie d'expression de certains gènes. Le phénotype humain, comme celui des grands singes proches, s'acquiert au cours du développement pré et postnatal, sous l'effet de l'interaction entre l'expression de l'information génétique et l'environnement (dont la relation aux autres individus). Les premiers primates fossiles datent de - 65 à -50 millions d'années. Ils sont variés et ne sont identiques ni à l'Homme actuel, ni aux autres singes actuels. La diversité des grands primates connue par les fossiles, qui a été grande, est aujourd'hui réduite.</p> <p>Homme et chimpanzé partagent un ancêtre commun récent. Aucun fossile ne peut être à coup sûr considéré comme un ancêtre de l'homme ou du chimpanzé. Le genre Homo regroupe l'Homme actuel et quelques fossiles qui se caractérisent notamment par une face réduite, un dimorphisme sexuel peu marqué sur le squelette, un style de bipédie avec trou occipital avancé et aptitude à la course à pied, une mandibule parabolique, etc. Production d'outils complexes et variété des pratiques culturelles sont associées au genre Homo, mais de façon non exclusive.</p> <p>La construction précise de l'arbre phylogénétique du genre Homo est controversée dans le détail.</p>	<p>Comparer les génotypes de différents primates.</p> <p>Positionner quelques espèces de primates actuels ou fossiles, dans un arbre phylogénétique, à partir de l'étude de caractères ou de leurs productions.</p>
<p>Objectif. Appliquer au cas Homo sapiens les acquis en matière d'évolution. (Collège, première : premières idées sur la place de l'Homme dans l'évolution ; pigments rétiens et place de l'Homme parmi les primates.)</p> <p>[Limites. L'étude de fossiles n'a aucun objectif exhaustif. Il s'agit simplement d'illustrer la diversité des primates fossiles, notamment de ceux habituellement classés dans le genre Homo. Aucun arbre phylogénétique précis n'est exigible mais comment, en s'appuyant sur tel ou tel caractère, on aborde sa construction. La controverse sur le détail précis de l'arbre est évoquée et illustre une question scientifique en devenir. Cependant, les différentes conceptions en présence ne sont en aucun cas exigibles.]</p>	

Tableau n° 55 : Unités d'analyse dans l'item « Un regard sur l'évolution de l'Homme » De l'œil au cerveau : quelques aspects de la vision » du programme de terminale S

Les ressources des programmes de terminale S portant sur cette partie du programme (partie génétique et évolution) sont assez développées et explicites et nous les utilisons en regard des intitulés du programme de terminale S. Les objectifs d'apprentissage, à partir du travail sur les arbres phylogénétiques, sont les suivants :

« Un des objectifs principaux de ce thème 1-A-4 à travers ce travail sur les arbres phylogénétiques est de développer la réflexion scientifique des élèves, de les mettre en situation de raisonner à partir des connaissances et des savoir-faire qu'ils maîtrisent à ce stade, de s'interroger et d'appréhender le fait que les résultats obtenus peuvent varier en fonction des caractères pris en compte ou des fossiles considérés, des incertitudes et des controverses demeurant à ce jour et faisant débat parmi les scientifiques. » (p.18)

Un second objectif porte sur la maîtrise des arbres :

« Il est important de permettre aux élèves de travailler sur des arbres de parenté avec différentes approches, construction, manipulation, lecture et analyse, de façon à s'assurer qu'ils maîtrisent bien sa signification. » (p.18)

L'institution insiste ici sur la maîtrise des raisonnements à l'œuvre dans la construction phylogénétique et la signification des arbres. Cependant nous relevons dans ce même texte plusieurs items qui soulèvent des difficultés et révèlent des confusions sur ce que peut dire ou non un arbre phylogénétique.

« Il s'agit d'appliquer au genre Homo les acquis en matière d'établissement de relations de parenté, puis de faire prendre conscience à l'élève du caractère buissonnant d'un arbre phylogénétique à partir de l'exemple de ce groupe. » (p.18)

Un arbre phylogénétique (et spécialement un cladogramme) a forcément un aspect buissonnant par son type de construction dichotomique. Il ne sera pas plus buissonnant pour les espèces du genre Homo que pour d'autres échantillons d'espèces. Il y aura toujours autant de branches que d'espèces choisies au départ et les branchements seront toujours dichotomiques. L'item suivant insiste sur cet aspect buissonnant :

« Ainsi, on amènera par exemple l'élève à faire évoluer l'arbre très simple construit dans un premier temps pour placer l'Homme au sein des Primates vers un arbre beaucoup plus buissonnant, en greffant sur la « branche » spécifique à l'Homme quelques espèces fossiles du genre Homo, tout cela étant justifié par un raisonnement scientifiquement rigoureux. » (p.18)

Là aussi, le nombre de branches augmentera seulement en fonction du nombre d'espèces ajoutées à l'échantillon de départ. L'arbre ne sera pas « beaucoup plus » buissonnant mais simplement plus fourni en espèce. Un troisième item insiste encore sur cet aspect buissonnant :

« Une fois découvert le caractère «buissonnant » qu'a pris l'arbre phylogénétique lorsque l'on y a placé les fossiles du genre Homo, un regard plus global peut être porté sur la diversité au sein du groupe. » (p. 18)

L'insistance sur le caractère buissonnant du genre Homo renvoie, nous semble-t-il, au programme précédent de terminale S dans lequel était enseignée « le caractère buissonnant de la lignée humaine ». Il était important dans ce programme de faire comprendre que les espèces du genre Homo et Australopitèque ne s'étaient pas remplacées les unes par les autres au sein d'une seule lignée humaine (vocabulaire justement abandonné depuis) mais que ces espèces avaient, pour certaines, cohabité et que la filiation à partir d'un ancêtre commun pouvait se représenter par un schéma « buissonnant » et non par une ligne droite. Cette notion essentielle, qui va à l'encontre des nombreuses représentations médiatiques, est un objectif important dans la compréhension de l'évolution des espèces humaines. Seulement, un arbre phylogénétique ne permet en aucun cas de découvrir l'aspect buissonnant du genre Homo puisque l'aspect dichotomique est inscrit dans la méthode même de la construction d'un arbre phylogénétique. Autrement dit on ne peut pas construire un arbre phylogénétique qui ne soit pas buissonnant (dans le sens de dichotomique) et donc on ne peut découvrir l'aspect buissonnant *a posteriori* de sa construction.

Utiliser un arbre phylogénétique pour mettre en évidence le caractère buissonnant de l'évolution du genre Homo par rapport à d'autres groupes d'espèces nécessiterait de faire une superposition de l'arbre phylogénétique des hominins avec l'arbre de la phylogénèse historique des espèces humaines. Ce qui est alors construit est un arbre « hybride » qui compile deux représentations différentes de l'évolution, celle d'un groupe d'espèces dont on cherche à reconstituer une généalogie réelle en identifiant les ancêtres et celle de la phylogénèse qui cherche les plus proches parents dans un groupe d'espèce et qui ne fait pas référence à une généalogie précise. Le rapport au temps de cet arbre hybride est, de fait, très ambigu et la maîtrise de la signification d'un arbre phylogénétique demandée par l'institution nous semble mal engagée dans ces conditions.

Nous portons également notre attention sur plusieurs items en rapport avec la validité des arbres phylogénétiques. Dans les ressources du programme de terminale S, une situation d'enseignement est proposée :

« Il serait également intéressant en terme de formation des élèves de les placer en situation de résolution d'une tâche complexe dans laquelle ils disposent de documents leur

permettant d'observer divers caractères d'individus du genre Homo et de Chimpanzés, ainsi que de documents présentant un ou plusieurs arbres de parenté différents où les individus présentés sont placés. L'activité peut alors consister, par exemple, à utiliser les informations apportées par ces documents pour argumenter sur la validité de tel ou tel arbre. »

La validité d'un arbre phylogénétique construit par la méthode cladistique (méthode utilisée en terminale S) s'appuie sur le principe de parcimonie ou congruence. Ce principe est un principe méthodologique : l'arbre choisi est celui qui présente le moins d'innovations évolutives c'est-à-dire le moins d'hypothèses *ad hoc* de transformations des caractères. Mais il ne dit pas que l'évolution est parcimonieuse. C'est un point important et souvent mal compris de la phylogénie (Lecointre, 2004). « *Argumenter sur la validité de tel ou tel arbre* » nécessite de faire référence à ce principe si l'on veut être rigoureux dans la manipulation et la construction d'un cladogramme. Or, à aucun moment, le principe de parcimonie n'est évoqué dans ces textes. Le mode de validité proposé dans ce texte est d'argumenter à partir de documents sur les caractères ce qui n'est pas rigoureusement le mode de validation d'un arbre phylogénétique construit par la méthode cladistique.

Une des phrases que nous avons citée au début de ce paragraphe évoque également la validation des arbres : « *...interroger et appréhender le fait que les résultats obtenus (les arbres phylogénétiques) peuvent varier en fonction des caractères pris en compte ou des fossiles considérés, des incertitudes et des controverses demeurant à ce jour et faisant débat parmi les scientifiques* ».

Un arbre phylogénétique se construit à partir de d'hypothèses d'homologie et pour un échantillon d'espèces donné. Le principe de parcimonie ou « congruence » assure sa validité méthodologique. Dans un ensemble d'arbres phylogénétiques, construits pour un même échantillon d'espèces mais avec des caractères différents, chaque arbre obtenu est validé méthodologiquement.

Si des différences existent entre les groupes frères trouvés parmi plusieurs arbres phylogénétiques, le choix sera fait sur les résultats les plus vraisemblables, par exemple les résultats majoritaires. Il s'agit là des modes de validation propres aux sciences historiques. Les termes d'incertitudes et de controverses ne peuvent donc pas réellement s'appliquer à la validation d'un ensemble d'arbres phylogénétiques qui fournissent le résultat le plus probable au regard d'une méthodologie éprouvée. Là où nous trouvons davantage d'incertitudes et de controverses, c'est dans le domaine de la paléontologie humaine et dans

son objectif de reconstitution de la phylogenèse des hominés c'est-à-dire la reconstitution de l'arbre évolutif des espèces humaines. Incertitude par incomplétude des données fossiles et controverse emblématique par exemple pour savoir qui de Toumai (découvert en 2002 par l'équipe de Michel Brunet) ou d'Orrorin (découvert en 2000 par Brigitte Senut et Martin Pickford) était le représentant de la première « espèce humaine ». Mais nous ne sommes pas là strictement dans le domaine de la classification phylogénétique mais plutôt dans celui de la reconstitution historique de l'évolution des hominés c'est-à-dire dans la recherche de la connaissance de l'arbre évolutif.

En regroupant ainsi dans une même phrase ce qui relève de la validation dans le champ de la classification phylogénétique et dans celui de la recherche de l'arbre évolutif, l'institution met sur un même plan les arbres phylogénétiques et l'arbre évolutif alors que leurs significations sont différentes bien que complémentaires. Nous retrouvons ici la présence sous-jacente de l'arbre « hybride » que nous avons déjà signalé. Mais surtout, le mode de validation des sciences historiques est ici passé sous silence alors que ce serait l'occasion idéale de l'aborder. Mais pour l'institution, ce sont les termes d'incertitudes, de controverses et de débats qui sont mobilisés dans les parties du programme ayant trait à la validation des phylogénies. « Le plus probable au vu des résultats et des faits compilés » n'est pas connu ou reconnu comme mode de validation dans les textes institutionnels alors qu'il est essentiel dans l'argumentation des sciences historiques. Les termes de controverses et de débats laissent également penser que la solution vraie existerait et qu'il suffirait d'attendre d'autres données pour la trouver. Les controverses et les débats opposent par définition des positions inconciliables et ils sont susceptibles d'être tranchés tôt ou tard. Or la reconstitution historique de l'histoire du vivant ne sera jamais « tranchée », il y a trop d'inconnaissable pour cause d'objets disparus à jamais (et l'impossibilité de voyager dans le temps) et si l'on peut espérer tendre vers une connaissance de plus en plus fine de la phylogenèse, il sera toujours méthodologiquement impossible d'en connaître la globalité.

Conclusion

Au terme de l'analyse des textes d'introduction et des préambules des programmes du secondaire, qui ont vocation à présenter les lignes directrices de l'enseignement des sciences, il apparaît que la distinction des pôles fonctionnaliste et historique au sein des sciences du vivant est certes repérable dans ces textes programmatiques mais que le niveau d'explicitation reste faible pour le pôle historique par rapport au pôle fonctionnaliste.

L'accent est majoritairement mis sur les activités expérimentales (et manipulatoires) tandis que l'existence et les modalités des sciences historiques n'apparaissent qu'en filigrane dans ces textes qui fixent le cadre général de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. C'est pourtant une part importante de l'activité scientifique en biologie et en géologie que de chercher à comprendre et à reconstituer l'histoire de la planète Terre et l'histoire du vivant. Il suffit de penser à l'exploration spatiale, particulièrement d'actualité cette année, avec la sonde Rosetta et son robot Philae qui vont collecter des données sur une comète lointaine pour que les humains puissent inférer de plus en plus finement l'histoire du système solaire et l'histoire du vivant dans ce système.

Cette différence de traitement entre les deux pôles scientifiques dans les introductions et préambules des programmes nous a conduit à investiguer les parties des programmes portant sur des objets spécifiques des sciences historiques et dont les énoncés devaient rendre plus saillants les caractéristiques de ces sciences. C'est le thème de la parenté entre les êtres vivants, en tant qu'il s'inscrit pleinement dans les modalités des sciences historiques et qu'il est enseigné de la sixième jusqu'en terminale, qui a été l'objet d'étude choisi.

Les résultats de cette analyse des textes programmatiques sur l'enseignement de la parenté entre les êtres vivants nous montrent que l'épistémologie des sciences historiques est mobilisée à bon escient dans certains énoncés argumentatifs mais qu'elle peut aussi être mise à mal dans certains autres. Nous trouvons également des « zones de non-dit » épistémologiques spécialement concernant les modalités de la preuve historique. Les points de difficultés que nous avons listés concernent le mode de validation de la preuve historique et le rapport au temps historique :

Le mode de validation

Rappelons que c'est par la mise en cohérence maximale de données convergentes que la validité scientifique s'acquière dans les sciences historiques. Dans le cas de l'évolution, c'est en mettant en cohérence les données moléculaires (universalité de l'ADN) et les données cellulaires (la cellule comme unité fondamentale du vivant) qu'est inférée l'origine commune et singulière des êtres vivants. La conséquence de cet événement fondateur est que l'ensemble du monde vivant est apparenté.

Or nous avons relevé à plusieurs reprises dans les textes analysés une justification de

l'évolution par la parenté des êtres vivants sans faire référence à l'origine commune. Ce raisonnement qui inverse la cause et l'effet s'appuie en partie sur une confusion autour de la polysémie du terme de parenté. Ce terme est en effet souvent utilisé dans le sens de ressemblances mais il finit par signifier imperceptiblement filiation. Ainsi, les « parentés-ressemblances » observées entre les êtres vivants sont traduites directement en « parenté-filiation » sans que le raisonnement inductif décrit plus haut soit explicité. Cette approche « raccourci » du raisonnement inductif le transforme en un lien de cause à effet non fondé : Il y a ressemblance entre des organismes donc il y a parenté entre ces organismes.

Un autre élément du mode de validation des sciences historiques est également occulté dans l'enseignement de la parenté. En classe de première l'étude d'un pigment rétinien (opsine bleue) est utilisé pour « placer l'Homme au sein des Primates ». Or pour asseoir la place de l'espèce humaine au sein du groupe des Primates, une seule étude moléculaire est loin de satisfaire aux critères de validité. Cependant la formulation employée ne relativise aucunement l'impact d'une seule étude sur ce placement de l'Homme. Elle n'est pas mise en perspective avec d'autres études convergentes ou non. Un seul exemple n'autorise pas scientifiquement à généraliser aussi rapidement.

L'arbre hybride :

A plusieurs reprises nous avons relevé une utilisation des arbres phylogénétiques comme s'ils étaient de même nature que l'arbre évolutif c'est-à-dire la représentation de la reconstitution chronologique du déploiement du monde vivant. En classe de troisième, le placement des fossiles dans l'arbre phylogénétique donne lieu à cette superposition d'arbres de natures différentes : les fossiles sont présentés comme des jalons dans l'arbre phylogénétique et possiblement identifiables aux ancêtres communs ce qui est totalement contraire à la construction phylogénétique qui justement s'est dégagée de ces identifications par trop spéculatives. En classe de terminale S, dans l'étude du genre Homo, il est demandé de montrer le caractère buissonnant de ce groupe sur l'arbre phylogénétique ce qui n'est objectivable que sur un arbre évolutif et pas phylogénétique comme nous l'avons expliqué précédemment. Cet arbre « hybride » rend particulièrement difficile voire impossible le rapport à la temporalité historique, dont on sait qu'elle est une difficulté majeure dans l'enseignement de l'évolution (et des sciences historiques en général), puisqu'il superpose le temps historique (temps profond) de l'arbre évolutif et le temps symbolique des arbres phylogénétiques.

Notre recherche de la place et de l'explicitation des modalités des sciences historiques dans les textes programmatiques sur la parenté aboutit au constat suivant : l'ensemble de ces textes présente une structure épistémologique en forme de « puzzle » dans lequel cohabitent ou se superposent des éléments épistémologiques disparates et parfois contradictoires. Ces textes de référence laissent ainsi à l'enseignant-lecteur une certaine (pour ne pas dire grande) latitude quant à leurs interprétations

Ces textes étant les outils de travail principaux des enseignants de SVT, nous pouvons supposer que l'épistémologie qui les sous-tend diffuse dans leur travail d'élaboration de démarche d'enseignement. Les enseignants ont-ils suffisamment d'appuis épistémologiques pour « faire le tri » et construire des activités d'enseignement épistémologiquement fondées ? Ils existe en effet des ressources pointues sur la phylogénie notamment sur le site du MNHN²¹. Des actions de formation ont été menées notamment au début des années 2000 quand l'enseignement de la phylogénie a débuté (programmes de 2001). De nombreuses ressources ont également été mises en ligne sur le site de l'INRP puis de l'IFE, par le groupe ACCES (Actualisation Continue des Connaissances des Enseignants en Sciences)²².

Pour savoir en quoi l'épistémologie qui sous-tend le discours institutionnel impacte le travail des enseignants nous nous proposons d'étudier des fiches d'activités sur la parenté élaborées par des enseignants afin d'en analyser les éléments correspondants aux points de tensions épistémologiques que nous avons listés (mode de validation de la preuve historique, interprétation des arbres phylogénétiques, temporalité). Les résultats de cette étude, mis en regard de l'analyse des textes officiels et de l'analyse des réseaux d'association réalisés par des enseignants de SVT, nous donneront des éclairages et des éléments de réponse aux questions de recherche que nous posons.

L'étude menée à partir des fiches d'activités n'a pas l'ambition d'être exhaustive. (Elle nécessiterait un recueil de données trop conséquent qui serait un travail de recherche en soi). Nous nous proposons plus modestement de réaliser une étude à caractère exploratoire qui nous permettra à la fois de mettre à l'épreuve nos résultats théoriques et de questionner les conséquences didactiques du « puzzle épistémologique » institutionnel.

21 Consultable à l'adresse suivante : <http://edu.mnhn.fr/course/view.php?id=42> (consulté le 1 octobre 2015)

22 Consultable à l'adresse suivante : <http://acces.ens-lyon.fr/evolution/evolution/aLaUne/smart> (consulté le 1 octobre 2015)

Chapitre 3 : Une étude des fiches d'activités sur la parenté

Introduction

L'analyse menée sur la prise en compte de l'épistémologie des sciences historiques de l'évolution dans les textes d'introduction des programmes montre qu'elle est minorée par rapport à celle des sciences fonctionnalistes. Malgré les intentions affichées d'intégrer dans l'enseignement des sciences la pluralité des modalités scientifiques, nous observons une quasi absence des particularités des sciences historiques dans ces textes officiels.

En analysant plus précisément les chapitres des programmes traitant de la reconstitution de l'histoire du vivant, objet d'étude relevant des sciences historiques, nous avons pointé des confusions et des contradictions, qui conduisent à une forme d'illisibilité de certaines dimensions épistémologiques de ces sciences notamment celles portant sur les modes de validation, les types de raisonnement et le rapport au temps.

L'étude menée sur les réseaux d'association des enseignants concernant l'évolution nous apportent des éclairages sur leurs représentations. Les process sont majoritaires dans le paysage construit ce qui signifie que l'évolution est d'abord pensée en ces termes par les enseignants ce qui est également le cas pour les chercheurs. Cependant même s'ils arrivent en second, les patterns « historiques » sont davantage cités, et notamment ceux se référant à la classification phylogénétique, par les enseignants. Une différence importante concerne les patterns « matériels » c'est-à-dire les « observables » de l'évolution qui sont présents, de manière quasi exclusive, dans le paysage des enseignants par rapport à celui des chercheurs.

L'analyse des réseaux d'association des enseignants révèle également que les mots-stimulus proposés n'ont pas évoqué chez les enseignants les conditions de possibilité des savoirs qu'ils recouvrent. Par exemple, le mot-stimulus « évolution » n'a pas fait émerger la variation, la reproduction, ni l'hérédité. Or les conditions de possibilité font partie intégrante du cahier des charges des explications scientifiques. Elles en constituent l'armature et la matrice et sont également mobilisées quand il s'agit de valider les explications scientifiques. Par exemple, pour valider la parenté globale des êtres vivants terrestres il faut convoquer (*a minima*) l'origine commune, la reproduction et l'hérédité.

Nous pensons que ce contexte épistémologique influence le travail enseignant et nous souhaitons poursuivre l'analyse en étudiant le contenu de fiches d'activités sur la parenté qui peuvent être le lieu d'expression des éléments que nous avons cités.

L'analyse précise des instructions officielles et des programmes sur la parenté nous permet d'imaginer les écueils possibles dans cet enseignement. Nous souhaitons mettre à l'épreuve la réalité de ces prévisions en étudiant des démarches d'enseignement sur la parenté élaborées par des enseignants. Cette étude ne peut être exhaustive et nous proposons à ce stade un travail uniquement prospectif qui vise à rendre compte de la diffusion des points de tension épistémologiques dans les démarches d'enseignement. Par ce travail, qui pourra donner lieu à des études ultérieures, et au travers d'exemples emblématiques, nous souhaitons ouvrir la réflexion sur les nécessaires échanges entre didactique et épistémologie. Nous posons simplement ici quelques jalons et proposons quelques pistes de recherche qui nous semblent susceptibles d'enrichir la réflexion notamment en terme de formation des enseignants.

C'est à partir des fiches d'activités élaborées par les enseignants que nous menons cette étude. Plusieurs auteurs ont pointé l'intérêt majeur de ces fiches comme objet d'études du travail des enseignants et cela pour plusieurs raisons : elles sont omniprésentes dans l'enseignement des sciences et sont le support principal et très majoritaire des séances d'enseignement dans le secondaire en France. (Tiberghien, 2001). Elles représentent un élément central des pratiques enseignantes (Mathé, 2010) et elles sont, pour notre étude, révélatrices d'un certain nombre de placements épistémologiques. En effet, elles contiennent le résultat du travail de réflexion et de synthèse que l'enseignant réalise en amont de la classe pour construire une démarche d'enseignement. Elles sont de plus accessibles facilement car elles sont aujourd'hui souvent médiatisées sur des sites académiques ou des sites d'établissements scolaires ou encore mises en ligne sur des blogs personnels. La visibilité importante que les auteurs donnent ainsi à leurs travaux nous permet de penser qu'ils en assument pleinement le contenu et qu'elles sont au plus près de leurs connaissances épistémologiques sur la parenté entre les êtres vivants.

Nous ne discutons pas ici de la pertinence didactique de ces fiches dans l'apprentissage (il est d'ailleurs de plus en plus demandé par les inspecteurs de l'Éducation Nationale de ne plus les proposer systématiquement aux élèves) mais nous les utilisons en tant qu'elles

nous donnent accès à la manière dont l'enseignant envisage, réfléchit, planifie son enseignement et met en scène la trame des raisonnements qu'il attend de la part de ses élèves. Ce faisant, il révèle ses propres appuis épistémologiques (spécialement pour les sciences historiques), ce que nous cherchons précisément à mettre à jour et à confronter à nos prévisions.

I. Analyse préalable et construction d'une grille d'analyse

Les programmes sur la parenté contiennent des difficultés épistémologiques notamment sur deux critères scientifiques importants des sciences historiques : Les raisonnements scientifiques et le rapport au temps.

Les raisonnements scientifiques : nous avons relevé dans les programmes sur la parenté que la justification de la parenté globale entre les êtres vivants et de la parenté locale dans un échantillon d'espèces ne mobilisait pas toujours correctement le cadre évolutif.

Le rapport au temps : nous avons repéré des confusions dans le rapport au temps des arbres phylogénétiques et de l'arbre évolutif.

Dans cette enquête nous portons notre attention sur ces deux points car se sont des critères de discrimination importants entre les sciences historiques et les sciences fonctionnalistes.

I. 1. Parenté globale et parenté locale

Rappelons que la théorie de l'évolution est « étayée » par des faits scientifiques tels que l'universalité du vivant aux échelles cellulaires et moléculaires ou encore le renouvellement des espèces constatées par l'étude des fossiles au cours des temps géologiques. La mise en cohérence de ces données et d'autres (nombreuses et bien documentées) conduit à inférer l'origine commune et unique du vivant. C'est l'explication scientifique la plus probable au regard des nombreuses données empiriques. En tenant compte ensuite des processus de reproduction et d'hérédité propres aux vivants ainsi qu'à la variation qu'elle engendre il devient possible de dire que l'ensemble des êtres vivants (terrestres) est apparenté (= parenté globale). Comme toutes les espèces sont apparentées le partage de caractères à l'état dérivé par certaines espèces permet de postuler que ces espèces possèdent un ancêtre commun exclusif chez qui l'état du caractère s'est modifié en premier. Elles sont alors plus apparentées entre elles qu'avec les autres. Nous utiliserons l'expression « parenté locale »

pour parler de cette parenté dans un échantillon d'espèces.

Le raisonnement mobilisé dans cette argumentation est de type inductif et il conduit à la conclusion la plus vraisemblable au regard des données initiales. C'est un raisonnement type des sciences historiques.

Il faut bien comprendre qu'un arbre phylogénétique ne permet d'établir que les parentés que nous appelons locales c'est-à-dire les liens de parenté au sein d'un groupe d'espèces. Il ne peut pas méthodologiquement (et épistémologiquement) conduire à justifier ou à prouver la parenté globale puisqu'il se construit sur le postulat que le monde vivant est globalement apparenté. Les arbres phylogénétiques ont pour objectif de proposer des scénarios les plus probables sur les chemins évolutifs qu'a emprunté le vivant par l'étude de la répartition des caractères, mais ils n'ont pas vocation (et les phylogénéticiens ne le revendiquent aucunement) à confirmer l'existence de l'évolution du vivant. La recherche d'une parenté locale est un problème pertinent uniquement quand il est posé dans le cadre de l'évolution des espèces et donc du préalable de la parenté globale. L'analyse des caractères des organismes permet de travailler la question des parentés locales mais ne peut conduire pas à la parenté globale. Rappelons aussi que la parenté ne s'observe pas, qu'elle est une interprétation dans le cadre évolutif de la ressemblance de certains caractères qui eux seuls peuvent s'observer.

I. 1. 1. Parentés globale et locale dans les programmes de SVT

C'est au niveau des classes de troisième et de seconde que le cadre évolutif est posé et que son articulation avec la parenté doit être faite. Nous avons relevé dans les programmes de ces niveaux scolaires des éléments de discours contradictoires avec les argumentations présentées ci-dessus. Nous les recensons et envisageons les écueils didactiques qu'elles peuvent induire.

Dans le programme de troisième un item de la colonne capacité propose comme activité d'enseignement : « *Observer, recenser et organiser des informations afin d'établir une relation de parenté entre les espèces.* » La formulation « *relation de parenté entre les espèces* » peut se comprendre de plusieurs manières. Elle peut notamment s'entendre dans un sens large qui englobe les relations entre toutes les espèces et pas seulement celles présentes dans un échantillon d'espèces choisies. « *Relations de parenté* » est également une expression ambivalente qui peut signifier la parenté verticale c'est-à-dire la filiation

généalogique entre les espèces ou alors la parenté « horizontale » c'est-à-dire « qui est plus proche parent de qui ? » et qui est celle objectivable dans un arbre phylogénétique. D'autre part, cet item commence par le verbe d'action « *observer* » comme l'ensemble des items de la partie du programme consacré à la parenté. Finalement, selon le degré de généralité auquel on comprend ces items, il est possible de penser que les seules observations des attributs des organismes peuvent conduire, sans la nécessité d'un apport théorique, à établir la parenté globale du vivant.

L'item suivant, présent dans les ressources de la classe de troisième place la parenté entre les espèces comme un fait étayant l'évolution :

« L'évolution ne doit pas être enseignée de manière dogmatique, mais étayée par un ensemble de faits scientifiques étudiés par l'élève. En classe de troisième les faits retenus sont les suivants :

-le partage d'attributs communs entre des espèces plus ou moins apparentées, qu'elles soient actuelles ou fossiles (par exemple la comparaison du squelette des membres de plusieurs vertébrés)

-la cellule, unité du vivant

-l'universalité de la molécule d'ADN, support de l'information génétique. »

« *le partage d'attributs communs entre des espèces plus ou moins apparentées* » n'est pas un fait scientifique. Si on parle d'espèces plus ou moins apparentées, cela signifie que la parenté globale de ces espèces est posée et connue et que le cadre évolutif est posé. Ce cadre ne peut donc pas être étayé par lui-même. Cet item laisse de fait la porte ouverte à une possible justification de l'évolution par l'observation des organismes et par la construction d'arbres phylogénétiques.

Dans le programme de seconde, deux items rendent également peu lisibles les liens épistémologiques entre la parenté et l'évolution. Une des activités proposée est : « *Comparer des ultra-structures cellulaires pour illustrer la parenté entre les êtres vivants* ». Nous avons déjà discuté de l'ambivalence du terme « *illustrer* » qui pourrait signifier ici « *montrer la parenté* » et là aussi faciliter la confusion entre ressemblance et parenté. Le second item, issu des ressources de seconde, : « *Parenté des êtres vivants déduite de l'ultra structure des cellules : exploitation des photos numériques obtenues précédemment* » donne à penser qu'un lien déductif existe entre observation et parenté ce qui est un contre-sens épistémologique. Cet item, qui a le mérite de la clarté, peut être source d'erreurs pour des enseignants, majoritairement soucieux d'appliquer les instructions officielles, et les

amener à utiliser les arbres phylogénétiques comme des « *faits étayant* » l'évolution.

Dans les programmes de troisième nous avons relevé que toutes les activités suggérées sur la parenté sont de type : « *observer, recenser et organiser les informations pour ...* ». En classe de seconde pour la même partie du programme, les activités proposées sont : « *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.* »

Ces activités, toutes basées sur l'observation et la comparaison des organismes et de leurs attributs, associées aux énoncés épistémologiquement « brouillés » listés ci-dessus laissent la porte ouverte à l'idée que la seule observation des organismes et de leurs attributs suffirait en elle-même à établir la parenté globale et locale des êtres vivants.

En terminale S c'est sur la validité des arbres phylogénétiques que nous relevons des ambiguïtés. La validité de l'arbre phylogénétique du genre *Homo* est questionnée « *La construction précise de l'arbre phylogénétique du genre Homo est controversée dans le détail.* ». La formulation employée, comme nous l'avons déjà dit, laisse entendre qu'il s'agit d'une controverse, terme peu approprié pour décrire les discussions qui ont lieu « normalement » sur le degré de solidité d'un arbre par rapport à un autre. *A contrario*, ce terme de controverse peut laisser entendre qu'il existerait dans l'absolu un unique arbre phylogénétique « vrai » une fois la controverse réglée.

I. 1. 2. Parentés globale et locale : conséquences envisageables dans les démarches d'enseignement

- Proposer des activités d'observations des caractères des organismes, faire construire un arbre phylogénétique mais en déduire ou justifier la parenté locale ou globale sans préciser que l'on réfléchit dans le cadre évolutif.
- Proposer des activités d'observations et de comparaisons pour observer la parenté.
- Présenter les parentés locales d'un arbre phylogénétique comme des arguments étayant la théorie de l'évolution.

I. 2. Le rapport au temps

Nous appelons « arbre évolutif » l'arbre qui représenterait dans l'absolu la reconstitution

de la filiation historiquement située du monde vivant telle qu'elle s'est déroulée. Cet arbre est scientifiquement inconnaissable dans son entier du fait de l'inaccessibilité des objets du passé dans leur globalité. L'ambition de le construire a cependant toujours existé et « l'arbre de vie » de Haeckel (1866) en est un des premiers représentants.

Les profonds changements qui ont affecté la systématique au XX^{ème} siècle ont totalement modifié les objectifs autour de cette reconstitution qui était forcément spéculative et dépendante des choix de son auteur. La classification phylogénétique allie à la fois un objectif plus modeste (et plus réaliste) au regard de la reconstitution de l'histoire du vivant mais un objectif beaucoup plus ambitieux sur la méthodologie scientifique à l'œuvre pour établir les parentés. Les différentes approches (cladistique, phénétique et bayésienne) traduisent toutes leurs résultats sous forme d'arbres (cladogramme, phénogramme) qui n'ont pas tout à fait la même signification et ne mobilisent pas systématiquement ou d'emblée le cadre évolutif notamment la méthode phénétique.

Cependant quand un arbre est qualifié de phylogénétique (les seuls envisagés dans l'enseignement de la parenté), cela signifie qu'il s'inscrit dans le cadre évolutif et que les rapprochements trouvés peuvent s'interpréter en terme de relation de parenté entre différentes espèces. Mais attention, un arbre phylogénétique n'a pas l'ambition, ni la capacité méthodologique, de reconstituer l'histoire évolutive réelle d'un groupe dans laquelle les ancêtres seraient identifiées et la chronologie absolue connue. Cependant par le biais des liens de parenté il contribue de manière très importante à proposer les scénarios évolutifs les plus probables. La distinction entre arbre phylogénétique et arbre évolutif peut sembler ténue puisque l'arbre phylogénétique conduit à proposer des éléments de reconstitution historique. Mais faire un amalgame un peu rapide entre ces deux types d'arbre revient à superposer deux objets qui ont un rapport au temps différent. L'arbre évolutif prend en compte la temporalité réelle de l'évolution avec des repères chronologiques issus des données paléontologiques, géologiques et des datations relatives et absolues. Il s'ancre dans l'échelle des temps géologiques. L'arbre phylogénétique ne s'inscrit pas dans une temporalité réelle. Les ancêtres communs hypothétiques (car inconnaissables) ont existé dans « un passé » mais on ne peut pas dater des événements évolutifs par la construction d'un arbre phylogénétique.

1. 2. 1. Le rapport au temps dans les programmes de SVT

Dans les ressources du programme de troisième un item contredit ce que nous venons

d'énoncer :

« Au cours de cette partie, on peut donc passer de la représentation en groupes emboîtés à des arbres d'apparement des espèces. La dimension temporelle permet de passer à un arbre phylogénétique, dans lequel les fossiles jalonnent les innovations. »

Cet item peut conduire à proposer des activités qui cherchent à placer des espèces fossiles en lieu et place des ancêtres communs alors que la construction phylogénétique s'est justement affranchie de ces identifications invérifiables.

Nous avons également signalé dans le programme de terminale S et les ressources associées plusieurs items dans lesquels sont superposés des éléments des arbres évolutifs et des arbres phylogénétiques. Citons celui sur l'aspect buissonnant de la lignée humaine qui selon l'institution pourrait être vu par le prisme de l'arbre phylogénétique :

« Il s'agit d'appliquer au genre Homo les acquis en matière d'établissement de relations de parenté, puis de faire prendre conscience à l'élève du caractère buissonnant d'un arbre phylogénétique à partir de l'exemple de ce groupe. » ou encore *« Une fois découvert le caractère «buissonnant» qu'a pris l'arbre phylogénétique lorsque l'on y a placé les fossiles du genre Homo, un regard plus global peut être porté sur la diversité au sein du groupe. »*

Nous avons expliqué que l'aspect buissonnant d'un arbre phylogénétique dépend uniquement du nombre d'espèces de l'échantillon testé mais pas de la nature de ces espèces. L'aspect buissonnant d'un arbre phylogénétique est d'ailleurs contraint par des branchements dichotomiques dans sa forme achevée. Il ne peut pas être plus ou moins buissonnant selon les espèces considérées mais seulement selon le nombre d'espèces de l'échantillon testé. C'est l'arbre évolutif des hominins qui peut être qualifié de buissonnant car nous savons que plusieurs espèces d'hominins ont cohabité et se sont succédées dans une histoire évolutive complexe qui est loin de ressembler à ce qui était appelé maladroitement la « lignée humaine » dans les anciens programmes de SVT.

Les items cités dans la partie précédente sur les « controverses » de l'arbre phylogénétique du genre Homo participent également à la confusion entre arbre phylogénétique et arbre évolutif car c'est en paléanthropologie que nous pouvons parler de controverses (dans le sens de positions inconciliables) sur l'arbre évolutif des espèces humaines et non pas à propos des arbres phylogénétiques.

Le recouvrement entre un arbre évolutif et un arbre phylogénétique perceptible dans les énoncés programmatiques peut conduire à vouloir faire dire aux arbres phylogénétiques plus qu'ils ne peuvent sur la reconstitution de l'histoire du vivant en brouillant le rapport au

temps chez des élèves déjà peu familiarisés avec le temps « profond » de l'évolution (Gould, 1987 ; Orange Ravachol, 2010).

1. 2. 2. Le rapport au temps : conséquences envisageables dans les démarches d'enseignement

- Proposer des activités dans lesquelles des fossiles peuvent être placés dans un arbre phylogénétique.
- Faire construire un arbre phylogénétique des hominins et en questionner l'aspect plus ou moins buissonnant.
- Placer une chronologie absolue sur des arbres phylogénétiques sans spécifier que l'on sort de la méthodologie phylogénétique *sensu stricto*.

1. 3. Problématique

Quelle est la réalité des prévisions que nous venons de formuler en terme d'activités d'enseignement ? Est-ce que les points de tension épistémologiques présents dans les programmes scolaires diffusent auprès des enseignants et sous quelles formes ? Est-ce que les connaissances actualisées des enseignants sur la phylogénie leur permettent de « faire le tri » et de s'appuyer sur l'épistémologie des sciences historiques dans leur enseignement de la parenté ?

II. Méthodologie

II. 1. Corpus

Nous avons récolté des fiches d'activité pour les niveaux scolaires dans lesquels nous avons relevé des problèmes épistémologiques dans les programmes correspondants. Nous retenons les fiches correspondant aux niveaux scolaires dans lesquels une place conséquente est accordée à la parenté ce qui pourra donner lieu à des mises en ligne de fiches d'activités plus nombreuses. Les niveaux retenus doivent également être ceux dans lesquels les programmes explicitent les liens entre l'évolution et la parenté puisque c'est le point de confluence des difficultés rencontrées. Pour ces raisons nous ne nous attardons pas sur les niveaux de cinquième, quatrième et première qui ne sont que des moments d'application de règles apprises précédemment. Nous ne retenons pas non plus le niveau de sixième car ce programme prescrit de travailler la classification sans la connecter au cadre

évolutif ce qui ne permet pas d'entrer dans les argumentations étudiées ici.

Nous retenons donc les niveaux et les parties de programme ci-dessous :

- Troisième : la classification (groupes emboîtés) devient phylogénétique puisqu'elle est interprétée dans le cadre évolutif.
- Seconde : explicitation des fondements épistémologiques de la parenté et lien avec l'évolution.
- Terminale S : la phylogénie du genre Homo en lien avec l'histoire évolutive des hominins.

la collecte des fiches

Via internet :

- sur des sites officiels qui mettent en ligne des fiches d'activités élaborées par des enseignants : site edu'base²³ svt via le site eduscol²⁴. ces fiches sont présentées dans la rubrique « ressources d'accompagnement » et sont mises à disposition des enseignants.
- sur des sites académiques de SVT
- sur des blogs personnels d'enseignants mettant en ligne leurs fiches d'activités

Voie directe :

Fiches d'activité fournies par des enseignants stagiaires et par des enseignants plus chevronnés à notre demande.

II. 2. Traitement des données

Notre analyse des programmes sur la parenté nous a conduit à envisager les difficultés d'ordre didactique que les instructions officielles (IO) sont susceptibles de générer soit par l'absence d'explicitation soit par des propositions épistémologiquement non fondées. Dans une première partie de l'analyse nous listons les conséquences possibles en terme d'enseignement des positions épistémologiques des IO dans les activités d'enseignement sur la parenté.

23 Consultable en ligne : <http://eduscol.education.fr/bd/urtic/svt/>

24 Consultable en ligne : <http://eduscol.education.fr/>

Pour traduire en terme d'activités d'enseignement les écueils repérés dans les IO nous avons besoin de caractériser les fiches d'activités sur la parenté pour en établir une forme prototypique. La démarche d'enseignement préconisée actuellement dans l'enseignement est la démarche d'investigation (DI) qui est déclinée en plusieurs étapes. Nous supposons que les démarches d'enseignement sur la parenté s'inspirent de ce canevas institutionnel et nous comparons la structure des fiches d'activités consultées sur la parenté aux étapes de la DI pour en repérer les points de convergence et de divergence et construire ainsi une fiche d'activité type correspondant au plus près à celles de notre corpus.

Nous traduirons ensuite les écueils épistémologiques attendus en terme d'éléments de démarche précis et localisés de cette fiche d'activité type que nous présentons dans une grille de lecture à double entrée.

Nous pourrions alors tester la réalité de nos prévisions en comparant les fiches d'activités consultées avec cette grille de lecture.

Nous avons consulté un certain nombre de fiches d'activités élaborées sur le thème de la parenté. Comme nous le présentons, des difficultés d'ordre épistémologique sont repérables dans un nombre important de fiches. Pour apporter une indication quantitative, plus d'une fiche consultée sur deux présentent des confusions épistémologiques et nous les retenons dans notre corpus. Ajoutons que les fiches non retenues le sont d'ailleurs plus par la difficulté à interpréter des formulations qui sont trop minimales ou générales que par une explicitation développée et correcte des raisonnements à mettre en œuvre dans ces activités.

Pour analyser les difficultés didactiques liées aux problèmes d'ordre épistémologique des IO nous avons construit une grille d'analyse qui nous permet de caractériser plus finement les problèmes rencontrés dans ces fiches d'activités. Nous nous sommes inspirés ici des travaux de Stéphanie Mathé (Mathé, 2010) qui a étudié des fiches d'activités de professeurs de physique et construit une grille d'analyse dans une approche multidimensionnelle qui articule les données empiriques issues des fiches qu'elle a analysées avec ses « considérations théoriques » ce qui lui permet de proposer des rubriques et des indicateurs d'analyse adaptés à sa recherche. Nous trouvons cette approche pertinente pour l'enquête exploratoire que nous menons et cela pour plusieurs raisons. Elle permet d'abord de structurer notre analyse en prenant en compte la forme réelle des fiches d'activités sur la parenté de notre corpus (assez éloigné finalement d'une DI classique) et elle rend plus

efficace l'usage de nos indicateurs d'analyse. Cette grille pourra être également enrichie et utilisée pour des recherches plus approfondies.

II. 2. 1. Grille d'analyse des fiches d'activités

II. 2. 1. 1. Construction d'une fiche prototypique

A la lecture du corpus de fiches d'activité élaborées sur le thème de la parenté nous repérons une structure commune qui s'appuie sur un découpage en rubriques qui rappelle en partie les étapes de la démarche d'investigation telle qu'elle est décrite dans les introductions générales des programmes scolaires. Certaines phases concordent avec celles de la DI mais certaines manquent à l'appel. La fiche d'activité élève ne peut pas comporter les deux dernières étapes de la DI puisqu'elles sont de l'ordre de la synthèse qui a lieu après l'activité proposée. Nous formalisons ici ce canevas commun en identifiant 4 étapes principales qui seront nos rubriques d'analyse des fiches récoltées.

Les étapes de la DI	Étapes présentes dans les fiches d'activités retenues
une situation motivante suscitant la curiosité	Une phase de contextualisation dans laquelle les espèces qui vont être étudiées sont présentées. Leurs ressemblances peuvent être pointées. Le cadre évolutif est mentionné ou non.
la formulation d'une problématique précise	Formulation d'un problème ou de consignes à suivre concernant la parenté des espèces étudiées.
l'énoncé d'hypothèses explicatives	absent
la conception d'une stratégie pour éprouver ces hypothèses	absent
la mise en œuvre du projet ainsi élaboré	L'activité des élèves est très majoritairement la construction d'un arbre phylogénétique ou de groupes emboîtés (à l'aide du logiciel Phylogène (INRP 2000)) dont l'échantillon d'espèces et les caractères à traiter sont imposés. L'élève remplit une matrice des caractères.
la confrontation des résultats obtenus et des hypothèses	Phase conclusive avec formulation de questions portant sur la signification des arbres construits.
l'élaboration d'un savoir mémorisable	Hors contexte de la fiche d'activité
l'identification éventuelle de conséquences pratiques de ce savoir	Hors contexte de la fiche d'activité.

Tableau n°56 : étapes de la DI et correspondance avec les étapes repérées dans les fiches d'activités retenues.

Commentaires

Le premier constat est que les fiches d'activités que nous avons consultées sur la parenté

proposent des démarches relativement courtes et axées sur la construction d'un arbre phylogénétique. L'utilisation du logiciel Phylogène est explicité souvent de manière précise et occupe une partie importante des fiches d'activités.

Ce qui surprend également c'est l'aspect très directif et contraint des activités proposées sur la parenté. Il n'y a pas, ou très minoritairement, d'activités s'articulant sur des hypothèses de parenté. Il n'y a pas d'activités proposant des matrices de caractères qui permettent de construire des arbres différents. Les espèces et les caractères sont choisis par l'enseignant et ils ne conduisent qu'à un seul arbre.

Il est remarquable que le travail autour des hypothèses de parenté ne soit pas mobilisé ou même évoqué dans les activités de construction des arbres phylogénétiques alors que la classification phylogénétique au laboratoire est basée fondamentalement sur des hypothèses d'homologies primaires et secondaires. (Lecointre, 2001) Sans entrer dans un travail complexe autour de l'homologie, construire des arbres parmi lesquels il faudrait choisir le plus probable serait plus à même de faire entrer les élèves dans les modes de raisonnement de la phylogénie et les amener à réfléchir sur la validité d'un arbre.

En réalité l'autonomie des élèves est très limitée dans ces activités et nous ne pouvons pas parler d'une réelle mise en œuvre d'une démarche d'investigation au regard des premiers constats : pas de problématique élaborée par la classe, pas d'hypothèses formulées, et pas de confrontation entre ces hypothèses et les résultats.

Nous remarquons également que les caractères des organismes occupent une place centrale dans les fiches d'activités : ils sont évoqués dans la phase de contextualisation sous forme de constat (les espèces étudiées présentent certains caractères communs qui sont listés) ; ils sont présents dans la phase de construction de l'arbre phylogénétique dans son aspect manipulatoire (remplissage des matrices de caractères) ; Ils sont aussi convoqués dans les phases conclusives pour justifier des parentés.

Bien évidemment les attributs des organismes sont des outils essentiels de la classification phylogénétique mais leur investigation s'inscrit dans un contexte théorique conséquent : homologie primaire et secondaire, cadre évolutif, principe de congruence.

Les fiches d'activités peuvent être résumées sous la forme d'une fiche d'activité prototypique contenant 4 étapes :

- Contextualisation
- Problème
- Construction (arbre phylogénétique ou groupes emboîtés)
- Conclusion

Ces quatre étapes constituent les rubriques d'analyse des fiches d'activités de notre corpus. Cependant certaines fiches sont très directives et minimales et la phase de contextualisation ou la formulation d'un problème peuvent être absente. Dans ce cas, la phase de construction de l'arbre phylogénétique occupe l'essentiel du travail.

II. 2. 1. 2. Les indicateurs d'analyses

Nous présentons ici nos indicateurs d'analyse c'est-à-dire les marqueurs que nous allons suivre dans les fiches et qui sont des points de difficultés épistémologiques possibles au regard des IO. Nous les avons rappelés en introduction de cette partie. Nous précisons pour chacun deux les questions qui guident leur utilisation.

Indicateurs d'analyse en lien avec les raisonnements scientifiques

Le cadre évolutif : Le cadre évolutif est-il posé ou non ? Les élèves sont-ils informés qu'on travaille dans le cadre de la théorie de l'évolution ? Est-il mobilisé dans les justifications attendues ? L'origine commune est-elle rappelée et mobilisée dans les argumentations sur la parenté ?

La parenté-ressemblance versus la parenté-filiation : Quel est le lien exprimé dans les fiches entre les ressemblances (observables) et la parenté locale ou globale (non observable) ?

Parenté globale ou locale : Est-ce que la différence entre ces deux parentés est explicite dans les activités ?

Indicateurs d'analyse en lien avec le rapport au temps

L'arbre hybride : L'arbre phylogénétique construit est-il confondu avec un arbre évolutif ? Les ancêtres communs sont-ils identifiés ?

Grille d'analyse et indications des écueils possibles

Nous présentons maintenant la grille d'analyse des fiches d'activités dans laquelle nous formulons et localisons les écueils possibles que nous avons envisagés.

Rubriques d'analyse des fiches d'activités (phases de la démarche)	Indicateurs d'analyse			
	Critère des sciences historiques			
	Validation de la preuve			Rapport au temps
	cadre évolutif	parenté globale/ parenté locale	parenté- ressemblances/ parenté-filiation	arbre hybride
Contextualisation	absent ou présent mais non mobilisé dans les arguments		présenter la parenté comme résultat des ressemblances entre les êtres vivants.	
Problème		question sur la parenté d'un groupe d'espèces qui ne précise pas si parenté locale ou globale	demander de justifier la parenté à partir des ressemblances	
Construction				placement des fossiles sur un arbre phylogénétique
Conclusion	demander d'étayer l'évolution à partir de la parenté locale ou globale	demander de justifier la parenté globale à partir de la parenté locale	conclure sur la parenté à partir de l'observation des ressemblances	demander de mettre en évidence l'aspect buissonnant de l'arbre phylogénétique des hominins.

Tableau n°57 : grille d'analyse des fiches d'activités sur la parenté.

III. Les fiches d'activités analysées

Comme nous sommes dans le cadre d'une étude exploratoire, nous présentons et commentons ici uniquement les extraits des fiches d'activités qui sont emblématiques des difficultés épistémologiques que nous avons listées précédemment. Nous avons retenu 3 fiches d'activités qui présentent des difficultés de l'ordre des raisonnements scientifiques et 3 fiches présentant des difficultés dans leur rapport au temps.

III. 1. Présentation et commentaires

III. 1. 1. Les raisonnements scientifiques dans les fiches d'activités

Niveau 3 ^{ème} site d'un collège	Description de la fiche d'activité	Indicateurs d'analyses
contextualisation	Titre : « Des parentés entre groupes » « Voici quelques exemple de tétrapodes actuels et fossiles; ils possèdent tous des yeux, une bouche, un squelette interne, une mâchoire, des doigts. »	Le cadre évolutif et l'origine commune ne sont pas présentés. Les caractères communs sont cités.
problème	absent	
construction	Trois documents à disposition : Un tableau avec des vignettes représentant chacune, une des 8 espèces étudiées. Une information : « Le tableau suivant présente la présence ou l'absence de certains attributs utilisés par les scientifiques pour classer les êtres vivants. Entre parenthèse, le nom des groupes qui possèdent l'attribut. » Classez ces différents êtres vivants sous forme d'ensembles emboîtés.	La parenté n'est pas évoquée dans ces données, seule la classification l'est.
conclusion	Que pouvez vous déduire du partage d'attributs entre les vertébrés actuels et fossiles? <i>(La correction attenante est l'arbre phylogénétique des 8 espèces de vertébrés.)</i>	Lien direct entre partage d'attributs et la parenté locale et/ou globale. (la formulation ne précise pas qu'il s'agit des espèces de l'échantillon) Le cadre évolutif n'est pas mobilisé.

Tableau n° 58 : extrait de la fiche d'activité n°1

Commentaires

Cette fiche est assez représentative de notre corpus. Le commentaire général est que les documents et activités proposés ne permettent pas de répondre à la question conclusive : « *Que pouvez-vous déduire du partage d'attributs entre les vertébrés actuels et fossiles* ». En effet, l'élève ne dispose que de la matrice de caractères et des groupes emboîtés pour répondre.

Cette formulation, en ne précisant pas que les espèces à considérer sont celles de l'échantillon d'espèces, conduit à penser que la réponse attendue pourrait concerner la parenté globale des vertébrés. Si nous faisons abstraction de cet oubli, il est attendu que le partage d'attribut doit montrer la parenté locale de ces espèces.

Mais qu'elle que soit la bonne interprétation de cette question, comme le cadre évolutif (et notamment l'origine commune) n'est pas posé, l'élève ne peut pas passer par déduction du partage d'attributs observés à la parenté qu'elle soit locale ou globale. Il peut au mieux la suggérer mais pas la déduire.

Dans cette fiche, le raisonnement inductif qui conduit à l'origine commune et à la parenté globale du vivant est occulté au profit d'un raisonnement déductif entre partage d'attributs observés et parenté.

Niveau 3 ^{ème} site académique	Description de la fiche	Indicateurs d'analyses
contextualisation	Titre de l'activité : « Comparaison de quelques caractères d'espèces fossiles et actuelles avec le logiciel Phylogène »	Le cadre évolutif est sous-entendu car le logiciel Phylogène construit des arbres phylogénétiques mais il n'est pas explicité.
problème	absent	
construction	L'activité consiste à construire un arbre phylogénétique avec le logiciel Phylogène pour un groupe de 5 espèces dont 4 fossiles.	
conclusion	« Montrez qu'il existe une parenté entre ces cinq espèces. »	Un lien direct est attendu entre l'arbre phylogénétique de 5 espèces qui vient d'être construit et leur parenté locale.

Tableau n° 59 : extrait de la fiche d'activité n° 2

Commentaires

Nous pouvons supposer que la justification attendue par l'enseignant est que la parenté de ces 5 espèces se montre par le partage d'attributs communs qui a permis de construire l'arbre. Mais si l'on construit un arbre phylogénétique, le présupposé est qu'une parenté existe déjà entre les espèces considérées. La question, ainsi formulée, ne peut que conduire à un raisonnement tautologique. Il s'agirait de montrer la parenté d'un groupe d'espèces par la construction d'un arbre dont la méthodologie présuppose cette parenté.

C'est au niveau de la troisième que le lien doit être fait entre les groupes emboîtés, l'évolution et la parenté. Nous repérons dans cette fiche la volonté d'utiliser l'arbre phylogénétique construit par l'élève comme source de validation de la parenté dans un lien, là aussi, déductif qui serait : les espèces peuvent être placées dans un arbre à partir de leur ressemblances donc elles sont parentes. Le fait que le cadre évolutif ne soit pas mobilisé conforte l'idée qu'il n'est pas attendu dans le raisonnement conduisant à la parenté.

Niveau 3 ^{ème} professeur stagiaire	Description de la fiche d'activités	Indicateurs d'analyses
contextualisation	Titre : « Les parentés entre espèces de vertébrés. » Les similitudes observées dans le plan d'organisation des vertébrés suggèrent des relations de parenté entre les membres du groupe. On peut traduire ces parentés par un arbre phylogénétique ci-dessous. »	Le cadre évolutif n'est pas explicite.
problème	Comment justifier les relations de parenté de l'arbre phylogénétique ?	Formulation très générale qui ne précise pas si l'on parle de la parenté locale ou globale.
construction	Construction d'un arbre phylogénétique pour six espèces dont l'espèce humaine avec Phylogène.	
conclusion	Répondez au problème.	L'arbre phylogénétique est utilisé pour justifier les relations de parenté et peut-être l'évolution.

Tableau n°60 : extrait de la fiche d'activité n°3

Commentaires

La phrase d'introduction se rapproche de la formulation du programme mais elle en oublie l'articulation essentielle qui est le passage sur l'évolution : « *Leur comparaison (entre les espèces) conduit à imaginer entre elles une parenté, qui s'explique par l'évolution.* » (programme de troisième). Le cadre évolutif n'est donc pas explicité dans cette fiche bien que la référence au programme soit connue. Nous pouvons comprendre cet « oubli » si on le met en relation avec la question posée qui apparaît d'emblée ambiguë : « *Justifiez les relations de parenté de l'arbre phylogénétique* ». Soit il s'agit de répondre que c'est par le partage des caractères dérivés que l'on trouve les liens de parenté (réponse uniquement méthodologique possible ici), soit il peut s'agir d'évoquer l'évolution elle-même : les relations de parenté se justifient par l'évolution. Ce qui n'est pas faux dans l'absolu mais qui ne peut pas être une conclusion tirée de la construction d'un arbre. L'absence étonnante du passage sur l'évolution dans la phrase de contextualisation de cette fiche pourrait ainsi s'expliquer par l'idée qu'il serait possible d'aboutir à l'idée d'évolution par le travail sur la parenté. Dans ce cas, le cadre évolutif (issu d'un raisonnement inductif) devient la conclusion déductive que l'on peut tirer de la construction d'un arbre

phylogénétique. Nous aurions là une inversion épistémologique majeure. Nous ne pouvons être certains du choix de cet enseignant mais nous proposons cette hypothèse de travail.

Discussion

Les trois exemples présentés résument la teneur des confusions épistémologiques que nous avons trouvées dans notre corpus. Il apparaît qu'un certain nombre d'enseignants ne mobilisent pas à bon escient l'épistémologie qui sous-tend la classification phylogénétique dans les démarches qu'ils proposent aux élèves. A leur décharge, ils trouveront peu d'appuis dans les programmes scolaires sur la parenté qui entretiennent un certain « flou épistémologique ». Nous résumons ici les problèmes d'ordre épistémologique que nous avons repérés dans les fiches retenues :

- Une phase de contextualisation qui ne présente pas le cadre évolutif. Il peut être sous-entendu mais pas explicité. Par contre l'accent est mis sur les ressemblances entre les organismes.
- Une question posée « hors d'atteinte » au regard des activités réalisées (construction d'un arbre) et des informations présentes.
- Une phase de validation (ou de conclusion) dans laquelle il est demandé de valider la parenté locale ou globale à partir de l'arbre.

Nous rappelons que valider des propositions sur la parenté locale, et parfois sur la parenté globale, sans s'inscrire dans le cadre évolutif est épistémologiquement impossible. En poussant la réflexion sur l'absence du cadre évolutif, nous pouvons observer qu'il est parfois remplacé dans la phase de contextualisation par l'observation des caractères des organismes. Les ressemblances constatées deviennent ensuite, dans la phase conclusive, un élément de justification de la parenté. Nous retrouvons ici la confusion que nous avons pointée entre la parenté-ressemblance et la parenté-filiation dans les programmes scolaires.

Toujours à la décharge des enseignants, le rappel permanent de l'importance des activités d'observation du réel dans l'ensemble des textes officiels, et notamment dans les programmes sur la parenté, peuvent conduire les enseignants à s'appuyer solidement sur les observations des caractères pour conduire leurs démarches d'enseignement sur la parenté au prix de quelques distorsions épistémologiques.

Ce tropisme vers l'observation des caractères et vers les arguments déductifs donnent finalement aux activités analysées un « vernis expérimental » qui les fait « ressembler » dans leurs formes à des démarches hypothético-déductives telles qu'elles étaient (et sont toujours parfois) pratiquées dans l'enseignement de sciences et moquées sous l'acronyme OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion) (Astolfi, 1978).

Si nous suivons cette piste, la construction de l'arbre serait l'équivalent de l'« expérience » et l'arbre construit serait le « résultat ». Mais si l'arbre est envisagé comme un résultat d'expérience la démarche n'est pas terminée, elle nécessite une « conclusion ». Cette interprétation nous permettrait d'expliquer pourquoi les enseignants essaient de faire dire plus qu'ils ne peuvent aux arbres phylogénétiques : ils seraient tentés de les utiliser en lieu et place d'une expérience (en tout cas d'une manipulation) qui conduit à des résultats (les relations de parenté de l'arbre) dont on peut et doit déduire une conclusion. Elle explique aussi pourquoi nous trouvons relativement souvent des termes du champ lexical de la déduction dans les consignes conclusives. Cette réflexion (relativement spéculative) est une piste de travail. Elle rejoint cependant des travaux didactiques portant sur la mise en œuvre des démarches d'investigation dans la classe et qui montrent une assez grande diversité d'application mais le maintien plus ou moins implicite d'une démarche expérimentale type « OHERIC » en lieu et place d'une DI. (Triquet, 2012 ; Darley, 2007, Mathé, 2008)

III. 1. 2. L'arbre hybride et le rapport à la temporalité de l'évolution.

Nous présentons maintenant des extraits des fiches retenues et qui montrent des difficultés dans le rapport au temps des arbres phylogénétiques. Nous présentons les résultats de notre consultation uniquement à partir des rubriques d'analyses concernées. Les problèmes repérées ne dépendent pas ici réellement des démarches proposées mais sont contenus dans des formulations ambiguës qui se trouvent, soit dans la phase de contextualisation, soit dans la phase conclusive.

phase	Niveau	Extraits
contextualisation	3 ^{ème} site perso	Donc l'existence de ressemblances entre des groupes apparus successivement suggère la parenté des espèces qui les constituent. Pour établir une relation de parenté entre les différentes espèces au cours du temps, il faut construire un arbre d'évolution.
consigne	3 ^{ème} site perso	Trouver et « faire parler » les fossiles pour parvenir à les dater et les replacer dans la classification moderne afin de connaître leurs modes de vie et pouvoir ainsi reconstituer leur milieu de vie.
phase conclusive	3 ^{ème} site perso	Classification et groupes emboîtés portent les mêmes informations : liens de parenté et évolution dans le temps.
Phase conclusive	TS site perso	Discuter des résultats en fonction des caractères dérivés choisis et expliquer pour quelle raison l'arbre phylogénétique de la lignée humaine est controversé.

Tableau n°61 : extraits de 4 fiches d'activités

Commentaires

Les trois premières expressions retenues sont des exemples d'une confusion entre le rapport au temps d'un arbre phylogénétique et celle de l'arbre évolutif que nous avons défini comme la reconstitution historique du vivant au cours des temps géologiques. La première expression laisse entendre que l'arbre phylogénétique (« l'arbre de parenté ») donne accès aux relations de parenté « au cours du temps » et l'enseignant nomme cet arbre « l'arbre d'évolution ».

La deuxième expression laisse entendre que le placement des fossiles dans un arbre pourrait donner accès à leurs mode de vie et aider à reconstituer leur milieu de vie.

La troisième expression dit que la classification phylogénétique et les groupes emboîtés donnent des informations sur la temporalité de l'évolution.

La dernière proposition relève d'une difficulté d'un autre ordre. L'enseignant parle « *de l'arbre phylogénétique de la lignée humaine* ». Ce qu'on appelle ou appelait la lignée humaine (le nom est aujourd'hui abandonné) est l'histoire évolutive (c'est-à-dire le déploiement chronologique) des espèces humaines existantes après la divergence avec la lignée des chimpanzés. Ces espèces regroupent les genres Australopithèque, Paranthropus et Homo. Le schéma type de « la lignée humaine » représente la répartition chronologique des espèces d'homininés sur lequel on visualise notamment leur cohabitation. L'expression utilisée par l'enseignant crée ici un amalgame entre l'arbre évolutif (qui représenterait la « lignée humaine ») et l'arbre phylogénétique des mêmes espèces prises isolément. La

confusion se confirme quand le terme « *controverse* » est employé. Une controverse scientifique met en présence des positions opposées et souvent non conciliables. Or un arbre phylogénétique ne peut pas être « controversé ». En effet, son résultat ne peut être qu'unique car il dépend de principes méthodologiques forts (choix de l'échantillon d'espèces, , choix des caractères pris en compte, polarisation, principe de congruence) qui ne permettent d'aboutir qu'à un seul arbre. Par contre on peut aboutir à un autre arbre en modifiant les caractères de départ. On peut alors discuter de l'arbre le plus probable parmi plusieurs arbres construits pour un même échantillon d'espèces mais en faisant varier les caractères et leur polarisation. Cependant ces discussions ne sont pas des controverses car tous les auteurs sont d'accord sur les postulats de la construction phylogénétique. Nous sommes en réalité ici dans les pratiques courantes des sciences historiques dans la phase de validation. Il n'y pas d'arbre vrai à l'arrivée mais il y a l'arbre le plus probable, le plus cohérent au regard des données et sous couvert du cadre évolutif.

L'expression retenue « *l'arbre phylogénétique de la lignée humaine* » est pour le moins maladroite car elle adosse ce qui relève de la construction phylogénétique et ce qui relève de la reconstitution de l'histoire évolutive des hominins et crée ainsi un rapport complexe au temps de l'évolution.

Discussion

Les résultats de la consultation des fiches d'activités sur le critère du rapport au temps sont contrastés. Certains des écueils envisagés sont présents dans les fiches analysées, par contre d'autres en sont absents. Nous n'avons pas trouvé de fiches d'activité au niveau de la terminale S dans lesquelles il est demandé de caractériser l'aspect buissonnant de l'histoire des hominins à partir d'un arbre phylogénétique. De la même manière, aucune fiche consultée ne propose d'identifier un ancêtre commun hypothétique à un fossile connu ce qu'aurait pu induire l'item du programme de troisième suivant : « *La dimension temporelle permet de passer à un arbre phylogénétique, dans lequel les fossiles jalonnent les innovations* ».

Le caractère buissonnant de l'évolution des espèces de la lignée humaine était enseigné dans le programme précédent de terminale S. L'aspect buissonnant était montré à partir d'un schéma synoptique des espèces d'hominins et non à partir d'un arbre phylogénétique. Nous pouvons supposer que cette activité bien assimilée et maîtrisée n'a pas été remise en question par la lecture des programmes. De même pour l'identification des ancêtres

communs, la règle de non assimilation des ancêtres communs à des fossiles est rappelée et ne laisse pas prise à d'éventuelles confusions.

Par contre, si sur les arbres construits aucun fossile n'est positionné à la place d'un ancêtre commun, les expressions relevées montrent que le rapport au temps long n'est pas autant maîtrisé que la technique de construction d'un arbre phylogénétique (avec le logiciel Phylogène). Or la prise en compte du temps long (ou profond) est un élément important de l'épistémologie des sciences historiques et son appréhension est une difficulté majeure des élèves. Nous pouvons mettre en lien ce constat avec le peu de place accordée à la temporalité historique dans les textes officiels et notamment sa quasi absence dans les introductions du collège qui insistent au contraire sur la nécessité d'être en prise avec le réel et le présent dans les activités d'enseignement menées.

Conclusion sur l'analyse des fiches d'activités

L'analyse exploratoire des fiches d'activités sur la parenté confirme la diffusion dans les démarches d'enseignement proposées de certains problèmes d'ordre épistémologique relevés au niveau de l'étude des programmes sur la parenté : placement du cadre évolutif confus ou absent, amalgame entre parenté globale et parenté locale, superposition de la temporalité d'un arbre phylogénétique et de celle de l'arbre évolutif.

Elle a aussi permis de pointer la place centrale accordée aux caractères et attributs des organismes dans les activités de classification. Si leur mobilisation est incontournable dans la construction d'un arbre phylogénétique (basée sur une matrice de caractères), leur utilisation dans l'argumentation de la parenté globale est, selon nous, inappropriée. Or il arrive que par un raccourci déductif, les ressemblances observées entre les organismes soient utilisées dans ce sens. Dans les fiches présentant ce mode de justification le cadre évolutif n'est d'ailleurs pas posé et l'origine commune n'est pas mobilisée.

Les études que nous avons menées en amont de celles des programmes scolaires *sensu stricto* sur la parenté nous permettent de proposer ici des éléments d'explication pour comprendre l'origine et l'existence des problèmes épistémologiques recensés.

L'absence fréquente du cadre évolutif dans les activités d'enseignement portant sur la parenté et sa faible mobilisation dans les argumentations peuvent être mises en relation avec l'absence ou la faible présence dans les réseaux d'association réalisés par les

enseignants de certaines conditions de possibilité pour le concept de parenté. Si « l'origine commune » émerge dans les résultats des enseignants au niveau du premier noyau périphérique c'est parce qu'il a été cité par 7 enseignants sur 57. Par ailleurs, les autres conditions de possibilité, « reproduction » et « hérédité » sont absentes des noyaux principaux. Nous avons expliqué que l'on ne peut pas argumenter la parenté sans ces éléments et nous avons observé ces problèmes d'argumentation dans un nombre important de fiches d'activités sur la parenté.

La focalisation sur les caractères et attributs des organismes, repérée dans les fiches d'activités, peut également être mise en relation avec un autre résultat des réseaux d'association. Il concerne la place importante occupée par les items correspondant aux caractères des organismes (« caractères » est cité 15 fois, « caractère commun » 24 fois et « attributs » 5 fois) en réponse au mot-stimulus « parenté ».

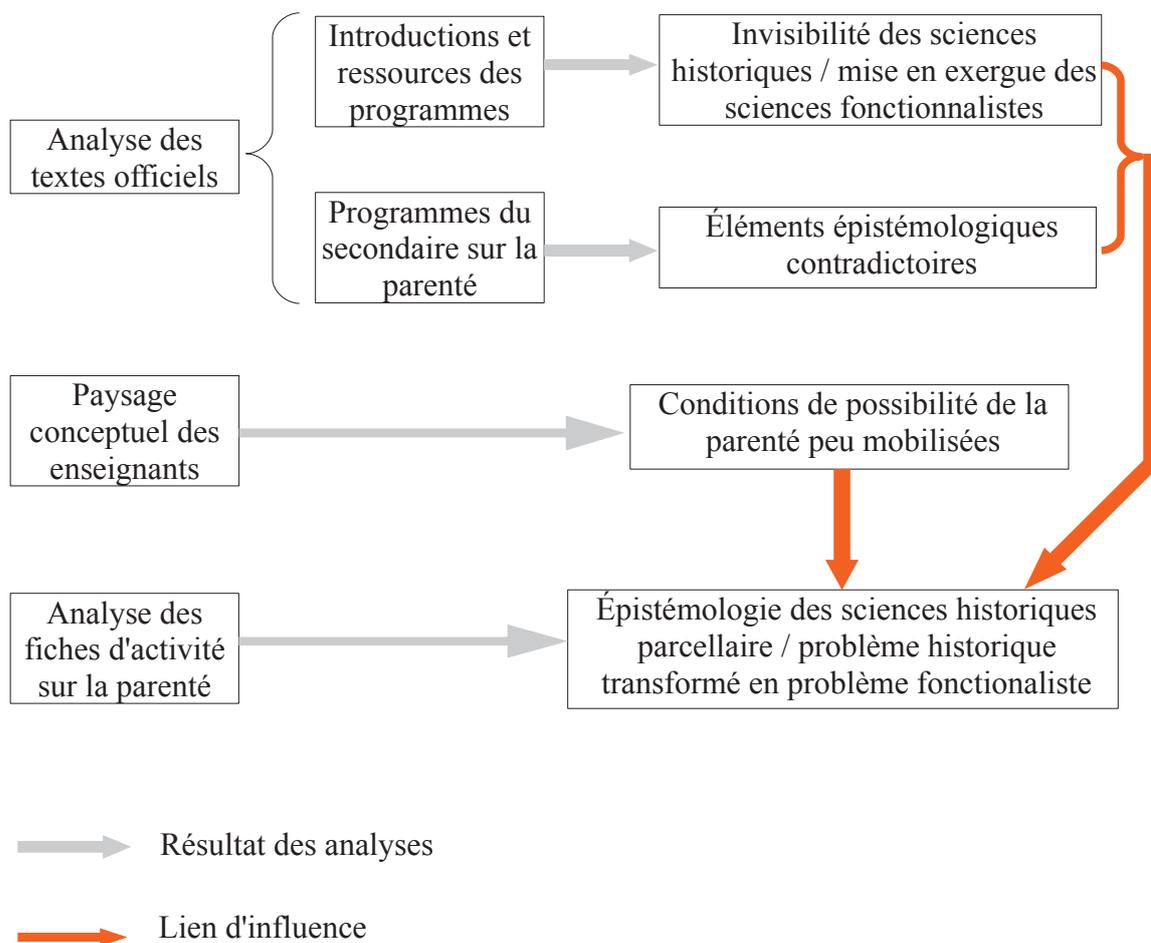
La non mobilisation par les enseignants des conditions de possibilité de la parenté associée à la focalisation sur les caractères des organismes peut expliquer, nous semble-t-il, la tendance repérée à relier dans un lien déductif l'observation d'une ressemblance entre des organismes à leur parenté.

Cependant la focalisation sur l'observation des caractères et le lien déductif direct entre ressemblances et parenté peuvent sembler correspondre avec certaines attentes méthodologiques de l'institution que nous avons pointées dans l'analyse des introductions et des ressources générales des programmes scolaires. La mise en œuvre d'une démonstration expérimentale (donc déductive) et d'activités d'observation sont finalement, si on ne tient pas compte de l'épistémologie de la phylogénie, réalisées dans certaines fiches d'activités analysées. La prédominance accordée aux sciences fonctionnalistes et à la démarche expérimentale peuvent ainsi expliquer la tendance à rendre pseudo-déductive une activité de construction d'un arbre phylogénétique. Le contexte institutionnel, mettant en exergue les pratiques des sciences fonctionnalistes, peut être un élément d'incitation à transformer des problèmes historiques en problèmes fonctionnalistes.

Ce travail sur l'enseignement de la parenté met en lumière la nécessité de connaître, pour celui qui doit les enseigner, les fondements épistémologiques des objets scientifiques qu'il investit. Sans cela, le risque est réel de mobiliser des raisonnements et des modes de validation inadéquats. Les sciences de la vie et de la Terre travaillent en partie sur des

objets historiques qu'il est important d'appréhender en tant que tels. Cela implique, d'une part, que l'institution scolaire expose et assume davantage l'existence des sciences historiques dans le champ des SVT et que, d'autre part, la formation des enseignants de SVT prennent en compte l'épistémologie des champs scientifiques considérés et en particulier l'épistémologie contemporaine de l'évolution.

Nous résumons dans le schéma suivant les liens d'influences que nous pouvons proposer d'après les résultats obtenus dans les différents champs étudiés.



CONCLUSION GENERALE

Arrivée au terme de notre recherche, nous avons une meilleure visibilité de l'épistémologie contemporaine de l'évolution dans le monde scolaire. Le premier constat très général est que le paysage qui s'offre à nous est clairsemé. Les textes de cadrage de l'institution scolaire sur l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre ne sont pas diserts sur l'épistémologie et quand ils en exposent les modalités ce sont les pratiques des sciences fonctionnalistes qui monopolisent l'attention. Nous avons constaté l'importance élevée accordée aux données empiriques et surtout aux activités d'observation censées, à elles seules, nourrir le questionnement des élèves. Ce primat de l'observation dans la pratique scientifique a depuis longtemps été remis en question par les épistémologues et les didacticiens mais il persiste dans le monde scolaire. Il est également rappelé, à de nombreuses reprises, qu'il est important que l'élève manipule et expérimente aussi souvent que possible et nous pourrions même ajouter, quel que soit l'objet d'étude. Ce discours institutionnel insistant sur les pratiques des sciences fonctionnalistes porte en lui des intentions paradoxales car dans le même temps il prescrit de faire acquérir aux élèves des connaissances sur la nature de la science et le mode de construction des savoirs.

Plusieurs raisons peuvent être évoquées pour expliquer cet état de fait. Nous pouvons considérer qu'il s'agit d'un choix délibéré de mettre l'accent sur l'enseignement des sciences fonctionnalistes, qui se prêteraient davantage aux activités manipulatoires et expérimentales. Mais dans ce cas, il n'est guère envisageable d'enseigner pleinement les sciences de l'évolution. Or les instructions sont claires sur ce point. L'évolution est inscrite dans le socle commun et dans les programmes scolaires de la sixième à la terminale. Nous penchons pour une autre explication : sans être délaissée volontairement par l'institution scolaire, l'épistémologie des sciences historiques nous apparaît plutôt comme un « impensé » de l'enseignement des sciences. Nous soutenons ce point de vue à partir de plusieurs résultats de notre enquête. Le terme « science historique » est absent des textes officiels et il n'y a pas de réelles explicitations d'une épistémologie des sciences qui reconstituent l'histoire de la vie ou de la Terre. Les objets des sciences historiques sont présents dans les programmes scolaires mais leur prise en charge didactique ne se différencie pas clairement de celle des objets des sciences fonctionnalistes. Les fiches d'activités que nous avons retenues, parce qu'elles présentent des problèmes d'ordre épistémologique, sont parfois médiatisées sur des sites officiels ce qui permet de penser

que leurs contenus satisfont à la fois leurs auteurs et l'institution. Or les difficultés épistémologiques présentes dans ces fiches ne semblent pas être repérées dans le monde scolaire.

Les sciences historiques et leur épistémologie présentent ainsi une forme d'invisibilité dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre, et sont comme passée sous silence par le tropisme vers l'expérimental et le manipulable.

Cette insistance sur les pratiques des sciences fonctionnalistes et les données empiriques peuvent s'interpréter en première approche dans le cadre de la transposition didactique, cadre théorique développé par Yves Chevallard dans les années 80. (Chevallard, 1985) L'idée centrale développée est que les objets de savoir ne peuvent devenir des objets d'enseignement qu'au prix de transformations de différents ordres qui les rendent « enseignables » c'est-à-dire adaptés aux contraintes du milieu scolaire. Le « savoir savant », savoir du domaine scientifique de référence, devient dans un premier temps un « savoir à enseigner », celui des énoncés des textes programmatiques, puis un « savoir enseigné », celui pris en charge par l'enseignant. Il faut comprendre que la transposition didactique est à la fois nécessaire (on ne peut pas importer directement le savoir des chercheurs dans la classe) et problématique (elle peut conduire à des décalages et des déformations importantes). C'est pourquoi Guy Brousseau (1986) ou Gilbert Arzac (1989) ont proposé de la mettre « sous surveillance ». Nous sommes peut-être, avec les objets des sciences historiques, dans un des excès possibles de la transposition didactique. Ces objets présentent en effet une incompatibilité épistémologique avec le cadre de pensée actuel de l'enseignement des sciences qui, malgré quelques frémissements, reste très attaché à la pratique expérimentale et à la manipulation des objets « observables ».

La solution, plus ou moins implicite, trouvée par l'institution, (qui ne peut pas faire décentement l'impasse sur l'enseignement de l'évolution) est, comme nous l'avons observé, de mettre l'accent sur les éléments des sciences historiques qui peuvent, pris isolément, s'intégrer dans une démarche pédagogique expérimentale. Dans l'enseignement de la parenté, nous avons montré comment les programmes insistent sur l'utilisation des caractères des organismes, éléments observables et manipulables, et qui peuvent être, avec le logiciel Phylogène, mobilisés dans une démarche qui peut prendre l'aspect d'une démarche expérimentale. Dans cet élan, et sans doute « en toute bonne foi » certains enseignants, s'appuient sur ces mêmes caractères pour établir un lien déductif vers la

parenté globale. Nous voyons ainsi comment les objets des sciences historiques qui rentrent dans les programmes scolaires subissent ce qu'on pourrait appeler un « toilettage épistémologique » qui les rend compatibles avec le type d'enseignement des sciences retenu par l'institution scolaire. C'est malheureusement au prix d'une distorsion trop importante de l'épistémologie des sciences historiques qui occulte à la fois leurs modes de raisonnements scientifiques et leur mode de validation, et qui conduit à des démarches contre-productives en terme d'apprentissage.

Ces résultats nous amènent à penser (et nous le soumettons à la discussion) que, fondamentalement, l'épistémologie scientifique n'est pas « transposable » dans le sens où elle n'est pas négociable et ne peut pas « s'adapter » pour des raisons pédagogiques. L'épistémologie définit le cadre de construction d'un savoir scientifique et elle en est constitutive. On peut décider que tel ou tel objet scientifique devienne un objet d'enseignement et subisse un processus de transposition didactique mais cela ne doit pas l'isoler de son cadre épistémologique. Si c'est le cas, le « savoir à enseigner » risque de devenir assertorique et donc peu susceptible de générer des problèmes scientifiques permettant son enseignement. Cela nous semble d'autant plus important que les démarches d'enseignement actuelles doivent se construire à partir de problèmes scientifiques. Leurs résolutions s'appuient sur des modes de raisonnement et des modes de validation spécifiques des objets travaillés et nous avons vu les erreurs auxquelles conduit l'occultation de l'épistémologie sous-jacente d'un objet d'enseignement dans le cas de la parenté.

Ce que nous retenons, et questionnons également au terme de notre étude, est l'uniformisation de la démarche d'enseignement des sciences, qu'elle soit d'ailleurs centrée sur les sciences fonctionnalistes ou sur un autre mode scientifique. La question est pourquoi donner un seul canevas pédagogique pour l'enseignement des sciences ? Des éléments d'histoire de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre nous apportent des éclairages sur ce questionnement. Nous remontons à la réforme de l'enseignement de 1902, qui a été le point de départ de la refondation des pratiques d'enseignement des sciences et notamment des sciences naturelles. La volonté des inspecteurs généraux des sciences naturelles, réunis en conférence en 1905, étaient de remplacer définitivement la « leçon de chose » et le « verbalisme » (la transmission du savoir sous forme d'exposé dogmatique) par une méthode d'enseignement résolument calquée sur les pratiques du

domaine scientifique de référence. Cette réforme promeut également, pour la première fois, une pédagogie « active ». La méthode scientifique, retenue par les inspecteurs de cette époque, est la méthode inductive que l'on pratique dans les sciences naturalistes : l'étude des faits répertoriés et observés conduit à la loi générale. L'observation est alors placée au début de la leçon. Cette méthode inductive est teintée de positivisme. Pierre Khan fait remarquer le caractère discutable de cette référence. Mais pour les inspecteurs généraux de l'époque, la méthode inductive doit devenir la seule méthode d'enseignement et il faut ainsi correspondre l'inductivisme épistémologique avec l'inductivisme pédagogique (Kahn, 2002). Cette méthode d'enseignement va perdurer, peu ou prou jusqu'aux années 60, moment où le prix Nobel de médecine est accordé, en 1965, à André Lwoff, Jacques Monod et François Jacob. La biologie moléculaire est alors en plein essor. Dans l'enseignement des sciences du vivant, ce tournant est marqué par l'entrée de la démarche expérimentale dans les programmes qui se doit d'être maintenant hypothético-déductive (Gohau, 2002).

Cette perspective historique nous montre comment les inspecteurs des différentes époques décident de calquer une pédagogie générale des sciences de la vie et de la Terre sur les méthodes scientifiques (et donc sur l'épistémologie) en vigueur à une époque donnée. Au début du XX^{ème} siècle, la science inductive, qui est celle des naturalistes, conduit à une pédagogie inductiviste. Dans les années 70, c'est la méthode hypothético-déductive des biologistes moléculaires qui devient la référence pédagogique. Mais ensuite cette pédagogie, inspirée par une épistémologie « d'actualité », s'applique à tous les objets d'enseignement sans discrimination et devient finalement uniforme et applicable quelle que soit la nature épistémologique des objets enseignés. Ce que nous voyons dans cette évolution des pédagogies scientifiques c'est qu'à chaque changement une seule épistémologie est retenue et devient une méthode pédagogique qui n'est plus attachée à la nature des objets scientifiques qu'elle investit.

Aujourd'hui la pluralité des pratiques scientifiques et des épistémologies est actée notamment dans les sciences de l'évolution qui mobilisent les pratiques des sciences historiques et fonctionnalistes. Dans ce contexte, peut-on continuer à penser l'enseignement des sciences, et notamment des sciences de l'évolution, dans le cadre d'un modèle pédagogique unique ? Il semble que non et nos résultats montrent les impasses auxquelles ce parti pris aboutit. Nous voyons cependant un mouvement d'ouverture se dessiner dans

l'enseignement des sciences. Les étapes de la démarche d'investigation, telles qu'elles sont formulées dans sa présentation générale, peuvent donner lieu à des activités qui ne soient pas expressément de l'ordre de la manipulation expérimentale : une situation motivante suscitant la curiosité ; la formulation d'une problématique précise ; l'énoncé d'hypothèses explicatives ; la conception d'une stratégie pour éprouver ces hypothèses ; la mise en œuvre du projet ainsi élaboré ; la confrontation des résultats obtenus et des hypothèses ; l'élaboration d'un savoir mémorisable ; l'identification éventuelle de conséquences pratiques de ce savoir. Cependant, comme nous l'avons montré, les énoncés qui explicitent la démarche d'investigation lui donnent rapidement un « vernis » expérimental. C'est d'ailleurs dans ce sens qu'une majorité d'enseignants la comprend.

Un rapport de l'INRP²⁵ de 2011 présente les résultats d'une enquête sur les représentations des enseignants des sciences concernant la démarche d'investigation. Les résultats montrent que 54 % des enseignants de SVT interprètent la démarche d'investigation en terme de démarche hypothético-déductive dans laquelle l'observation, la formulation d'hypothèses et la validation par l'expérimentation sont les moments-clés de sa mise en œuvre. (Rapport INRP, p. 54). Or la formulation très générale de la démarche d'investigation donne la possibilité d'élaborer une telle démarche pour des objets des sciences historiques. Le cadre de pensée unique de l'enseignement des sciences que nous avons pointé au niveau institutionnel est également présent chez un grand nombre d'enseignant.

Ces résultats nous amènent à plaider ici pour un enseignement des sciences qui ne soit plus basé sur un seul modèle pédagogique mais fondé sur des modèles didactiques, c'est-à-dire des modèles qui se pensent à partir des contenus de savoirs et de leur mode de construction, donc qui prennent en compte leurs dimensions épistémologiques. Engager un tel changement de cap demande, d'une part, un effort important de formation en direction des enseignants et, d'autre part, une prise de conscience institutionnelle des impasses d'un cadre pédagogique unique, et donc restreint, au regard de l'épistémologie scientifique générale. Rendre visible les sciences historiques dans l'enseignement des sciences nous semble une entrée pertinente pour commencer à répondre à ces objectifs. Travailler dans ce champ scientifique stimulera naturellement la réflexion sur la nature de la science et obligera les acteurs éducatifs à reconsidérer leurs positionnements épistémologiques.

25 Rapport consultable en ligne à l'adresse suivante : <http://ife.ens-lyon.fr/ife/ressources-et-services/ocep/dispositifs/DI/rapport-DI> (consulté le 1 octobre 2015)

Les sciences historiques ont leurs défenseurs dans le monde scientifique mais continuent d'être ignorées dans le monde scolaire. Il est temps de présenter les intérêts multiples d'un enseignement des sciences de la vie et de la Terre réconcilié avec les sciences historiques.

Travailler sur les objets des sciences historiques en complément de ceux des sciences fonctionnalistes permet de mobiliser l'ensemble des raisonnements scientifiques (déductif, inductif et abductif). L'explicitation de ces modes de raisonnement ouvre le champ de l'argumentation scientifique et permet de maîtriser davantage la structure des explications scientifiques.

La nature des objets des sciences historiques oblige également à mener une réflexion sur la preuve scientifique pour quiconque s'en empare sérieusement. Cette ouverture vers un autre mode de validation interroge *de facto* le rapport au «vrai» dans le domaine scientifique et dans le monde scolaire.

Les objets des sciences historiques sont également les outils privilégiés pour aborder la contingence historique et le rôle du hasard dans l'évolution. Nous avons pointé que cet aspect est quasi absent de l'ensemble des textes analysés.

Ces objets sont, dans le même ordre d'idée, les outils les plus pertinents pour penser le rapport au temps long, un aspect qui est, lui aussi, un oublié des textes institutionnels.

Ce que nous voulons mettre en lumière ici est la nature heuristique de l'étude de l'épistémologie des sciences de l'évolution qui oblige à entrer pleinement dans la réflexion sur la nature des savoirs en jeu et leurs modes de construction. Connaître cette épistémologie permet de maîtriser les concepts scientifiques fédérateurs et leurs liens réciproques ce qui participe à l'acquisition d'un savoir apodictique. Chaque enseignant de SVT devrait posséder ces outils intellectuels qui sont de puissants outils d'émancipation. La connaissance de l'épistémologie des sciences de l'évolution, par l'ouverture sur des objets scientifiques pluriels, sur d'autres modes de raisonnement et de validation, est à même d'apporter une plus grande liberté didactique en même temps que des garde-fous précieux. Des enseignants de SVT, formés dans cette optique, ne seraient plus embarrassés pour répondre aux questions sur les preuves de l'évolution. Pour l'ensemble de ces raisons nous espérons fortement que le domaine passionnant de l'épistémologie des sciences de l'évolution saura trouver sa place dans le cursus de formation des enseignants de SVT.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- Abric, J-C. (1994). *Pratiques sociales et représentations*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Andler, D., Fagot-Largeault, A. & Saint-Sernin, B. (2002). *Philosophie des sciences*. 1, Paris : Gallimard.
- Arsac, G., Develay, M. & Tiberghien, A. (1989). *La transposition didactique en mathématique, en physique, en biologie*. Villeurbanne : IREM et LIRDIS, université Claude Bernard, Lyon 1.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences: repères, définitions, bibliographies*. Paris : De Boeck.
- Astolfi, J.-P. & Develay, M. (2005 [1989]). *La didactique des sciences*. Que Sais-je, Paris : Presses Universitaires de France.
- Astolfi, J.-P. & al, (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Bachelard, G. (2004 [1938]). *La formation de l'esprit scientifique - contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Paris : J. Vrin.
- Blanché, R. (1975). *L'induction scientifique et les lois naturelles*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Calmette, B. (dir.). (2012). *Didactiques des sciences et démarches d'investigation Références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Coquidé, M. & Tirard, S. (2009). *L'évolution du vivant: un enseignement à risque ?*. Paris : Vuibert : ADAPT-SNES.
- Dawkins, R. (2003 [1976]). *Le gène égoïste*. Paris : O. Jacob.
- Delsol, M. (1985). *Cause, loi, hasard en biologie*. Paris : Lyon: Librairie philosophique J. Vrin ; Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques.
- Dobzhansky, T. (1982). *Genetics and the origin of species*. New York : Columbia University Press.
- Fortin, C. & Lecointre, G. (2009). *Guide critique de l'évolution*. Paris : Belin.
- Gayon, J. (1992). *Darwin et l'après Darwin: une histoire de l'hypothèse de sélection naturelle*. Paris : Éditions Kimé.
- Grangeat, M. (2011). *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique : Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : INRP.
- Gould, S. J. (2006 [2002]). *La structure de la théorie de l'évolution* (M. Blanc, Trad.). Paris : Gallimard.

- Gould, S. J. (1998). *La vie est belle - les surprises de l'évolution* (M. Blanc, Trad.). Paris : Éditions du Seuil.
- Gould, S. J. (1990 [1987]). *Aux racines du temps* (B. Ribault, Trad.). Paris: Éditions Grasset et Fasquelle.
- Hennig, W. (1966). *Phylogenetic systematics*. Urbana : University of Illinois Press.
- Huxley, J. (1942). *Evolution : The Modern Synthesis*. George Allen et Unwin, London.
- Jacob, F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Fayard.
- Jodelet, D. (1989). *Folies et représentations sociales*. ouvrage publié avec le concours du Centre National des Lettres, Paris : Les Presses universitaires de France, Collection : Sociologie d'aujourd'hui.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse, son image et son public*. Paris : Presses universitaires de France.
- Moscovici, S. (1996). *Les concepts fondamentaux de la psychologie sociale*. Paris : Dunod.
- Kimura, M. (1982). *Molecular Evolution, Protein polymorphism and the Neutral Theory*. Tokyo : Japan Science Press.
- Laflamme, A. (2006). *Cartes conceptuelles : un outil pour soutenir l'acquisition des connaissances*. Montréal : CEFES Université de Montréal. En ligne : http://www1.sites.fse.ulaval.ca/fichiers/site_mmottet/documents/ressources/techn/CmapTools.pdf
- Lecointre, G. & Le Guyader, H. (2001). *Classification phylogénétique du vivant*. Paris : Belin.
- Maurines, L. (2010). *Sciences & religions quelles vérités? quel dialogue?*. Paris : Vuibert.
- Mayr, E. (1995). *Histoire de la biologie: diversité, évolution et hérédité* (M. Blanc, trad.). Tome 1, Paris : Fayard : Librairie générale française.
- Mayr, E. (1942), *Systematics and the Origin of Species from the Viewpoint of a Zoologist*. New York : Columbia, University Press.
- Morange, M. (2011). *La vie, l'évolution et l'histoire*. Paris: O. Jacob.
- Nouvel, P. (2011). *La philosophie des sciences*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Novak, J. D. (1998), *Learning, creating, and using knowledge : Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*, Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences : problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. Bruxelles : De Boeck.
- Orange Ravachol, D. (2012). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre : entre phénomènes et événements*. Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Rumelhard, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne; Francfort-s. Main; New-York: Peter Lang.

- Rumelhard, G. (2000). *Les Formes de causalité dans les sciences de la vie et de la terre: approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris: Institut national de recherche pédagogique.
- Sachse, C. (2011). *Philosophie de la biologie : enjeux et perspectives*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Williams, G. C. (1996). *Adaptation and natural selection a critique of some current evolutionary thought*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Simpson, G. G. (1944). *Tempo and Mode in Evolution*. New York : Columbia Univ. Press.

Chapitres d'ouvrages

- Abric, J.-C. (2003). La recherche du noyau central et de la zone muette des représentations sociales. In J.C. Abric (dir.), *Méthodes d'études des représentations sociales* (pp. 59-80). Toulouse : Eres « Hors-collection ».
- Bouchard, F. (2011). La fitness au-delà des gènes et des organismes. In T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Silberstein (dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution*. (pp. 417-439) . Paris : Éditions matériologiques, www.materiologiques.com
- Barberousse, A. (2001). Pourquoi et comment formaliser la théorie de l'évolution. In T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Silberstein (dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution*. (pp. 361-385) . Paris : Éditions matériologiques, www.materiologiques.com
- Clément, P. (2004). Science et idéologie : exemples en didactique et en épistémologie de la biologie. In *Actes du colloque Science - Médias – Société* (pp 53-69). Lyon : ENS-LSH.
- De Ricqlès, A. et Padian, K. (2009). Quelques apports à la théorie de l'Évolution, de la « Synthèse orthodoxe » à la « Super synthèse évo-dévo » 1970–2009 : un point de vue. In *Comptes Rendus Palevol*, 8,(2-3) (pp 341-364). Paris : Académie des sciences/Issy-les-Moulineaux : Elsevier-Masson.
- De Rosa, A. S. (2003). Le réseau d'association. In J.C. Abric (dir.) *Méthodes d'études des représentations sociales* (pp 81-117). Toulouse : Eres « Hors-collection ».
- Eldredge, N. & Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria : an alternative to phyletic gradualism. In T.J.M. Schopf (Dir.), *Models in Paleobiology* (pp 82-116). San Francisco : Freeman, Cooper and Co.
- Fortin, C. (2000). Causalité et finalité – Les causes de l'évolution. In G. Rumelhard (Dir.), *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la terre: approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation* (pp. 81-101). Paris : Institut national de recherche pédagogique.
- Gayon, J. (2011). Préface. In dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Silberstein (dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution* (pp. 29-37). Paris : Éditions matériologiques, www.materiologiques.com .
- Gayon, J. (2009). Mort ou persistance du darwinisme ? Regard d'un épistémologue. In *Comptes Rendus Palevol*, 8,(2-3) (pp 321-340). Paris : Académie des sciences/Issy-les-Moulineaux : Elsevier-Masson.

- Gayon, J. (2006). Évolutionnisme. In D. Lecourt (Dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4e éd.) (pp 456-466). Paris : PUF.
- Gayon, J. (2000). La théorie de l'évolution : que signifie « darwinisme » aujourd'hui ? In Y. Michaud (dir.), *Qu'est-ce que la vie ?*, 1, (pp. 204-214). Paris : Éditions Odile Jacob.
- Gohau, G. (2002). Redécouverte d'hier à aujourd'hui. In N. Hulin (Dir.), *Sciences naturelles et formation de l'esprit – Autour de la réforme de 1902, Études et documents* (pp. 163-181). Villeneuve d'Ascq (Nord) : Presses universitaires du Septentrion.
- Grandcolas, P. (2011). Adaptation. In dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Silberstein (Dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution* (pp. 149-173). Paris : Éditions matériologiques, www.materiologiques.com .
- Huneman, P. (2001). Sélection. In dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Silberstein (Dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution* (pp. 93-144). Paris : Éditions matériologiques, www.materiologiques.com .
- Kahn, P. (2002). L'enseignement des sciences naturelles entre philosophie et pédagogie. In N. Hulin (Dir.), *Sciences naturelles et formation de l'esprit – Autour de la réforme de 1902, Études et documents* (pp. 85-106) Villeneuve d'Ascq (Nord) : Presses universitaires du Septentrion.
- Koriche, F. & Sallantin, J. (2006 [1999]). Abduction. In D. Lecourt (Dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4e éd.) (pp. 1-4). Paris : PUF.
- Heams, T. (2011). Hérité. In dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Silberstein (dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution* (pp. 71-88). Paris : Éditions matériologiques, www.materiologiques.com .
- Madelrieux, S. (2010). Le pragmatisme et les variétés de l'expérience. In L. Perreau & B. Ambroise (Dir.), *L'expérience* (pp. 111-131). Paris: Vrin.
- Merlin, F. (2014). L'hérité au-delà du tout génétique : problèmes et enjeux. In T. Hoquet & F. Merlin, *Précis de philosophie de la biologie* (pp. 237-250). Paris : Vuibert.
- Moscovici, S. (1989). Des représentations collectives aux représentations sociales : éléments pour une histoire. In D. Jodelet (Dir.), *Les représentations sociales* (pp. 62-86). Paris : Presses Universitaires de France.
- Orange Ravachol, D. (2010). Temps et construction de savoirs scientifiques en SVT ; In M. Coquidé & M. Prieur (dir.), *Enseigner l'espace et le temps à l'école et au collège, Obstacles, pratiques, outils* (pp. 109-139). Lyon : INRP.
- Pélissier, L. & Venturini, P. (2010). Étude sur des pratiques d'enseignement de savoirs épistémologiques de la physique en classe de lycée français. In *Actes du congrès de l'AREF*. Genève : Université de Genève. En ligne : <https://plone.unige.ch/aref2010/communications-orales/premiers-auteurs-en-p/Etude%20sur%20des%20pratiques.pdf/view>
- Pigliucci, M. (2013). The Nature of evolutionary Biology : At the borderlands between historical and Experimental Science. In K. Kampourakis (Dir.), *The philosophy of biology: a companion for educators* (pp. 87-100). New York : Springer.
- Pigliucci, M. (2009), An Extended Synthesis for Evolutionary Biology. In *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1168, (pp. 218-228) New York : New York academy of Sciences.

- Roger, J. (1992). Buffon et l'introduction de l'histoire dans l'histoire naturelle. In J.-C. Beaune & J. Gayon (Dir.), *Buffon 88: actes du Colloque international pour le bicentenaire de la mort de Buffon (Paris, Montbard, Dijon, 14-22 juin 1988)* (pp. 193-205). Paris : Lyon: J. Vrin ; Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques.
- Tiercelin, C. (2006 [1999]). Induction. In D. Lecourt (Dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4e éd.) (pp. 596-601). Paris : PUF.
- Tirard, S. (2000). Événement unique et cause – Les origines de la vie. In G. Rumelhard (Dir.), *Les Formes de causalité dans les sciences de la vie et de la terre: approche didactique: représentation, conceptualisation, modélisation* (pp. 107-123). Paris : Institut national de recherche pédagogique.
- Triquet, É., Gandi M. & Guillaud J.-C. (2012). Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et mathématiques. Évolution des représentations d'enseignants débutants de l'IUFM à l'issue de la formation. In B. Calmette (dir.), *Démarches d'investigation Références, représentations, pratiques et formation* (pp. 101-125). Paris : L'Harmattan.
- Urgelli, B. (2012). Logique de communication et d'Éducation dans l'enseignement des questions socioscientifiques. In *Actes du colloque sociologie et didactiques : vers une transgression des frontières*, Haute Ecole Pédagogique, Lausanne 12-14 septembre 2012. En ligne : http://www.academia.edu/10931437/Logiques_de_communication_et_d%C3%A9ducation_dans_lenseignement_de_questions_socioscientifiques
- Vernant, D. (2006 [1999]). Dédution. In D. Lecourt (Dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4e éd.) (pp. 339-342). Paris : PUF.
- Voizard, A. (2006 [1999]). Méthode. In D. Lecourt (Dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4e éd.) (pp. 741-746). Paris : PUF.

Articles

- Akiba, T., Koyama, K., Ishiki, Y., Kimura, S. & Fukushima, T. (1960). On the mechanism of the development of multiple-drug-resistant clones of Shigella. *Japanese Journal of microbiology*, 4, 219-227.
- Bailhache, P. (2005). « Sciences historiques et classification des sciences ». *Cahiers François Viète*, 9-10, 9-32.
- Barberousse, A. (2005). « Systématique phylogénétique et sens de l'histoire ». *Biosystema*, 24, 75-82.
- Coquidé, M., Fortin, C. & Rumelhard, G. (2009), « L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites ». *ASTER*, 49, 51-78.
- Darley, B. (2007). La démarche d'investigation et son vocabulaire. *Grand N*, 79, 99-111.
- De Ricqlès, A. (2005). La distinction entre « patterns » et « process » est-elle désuète en systématique ?. *Biosystema*, 24, 33-41.
- De Ricqlès A. (1996). « Biologie historique et évolutionnisme. Leçon inaugurale », *Collège de France*, n° 137.
- De Rosa, A. S. (1995). « Le réseau d'associations comme méthode d'étude dans la recherche sur les représentations sociales: structure, contenus et polarité du champ sémantique ». *Les Cahiers*

- Internationaux de Psychologie Sociale*, 28, 96-122.
- Dobzhanski, T., (1973) « Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution », *American Biology Teacher*, 35, 125-129.
- Fabre, M. & Orange, C. (1997). « Construction des problèmes et franchissements d'obstacles », *ASTER*, 24, 37-57.
- Fabre, M. (2005). « Introduction. ». *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle* , 38, 7-10.
- Fitzhugh, K. (2005). Les bases philosophiques de l'inférence phylogénétique : une vue d'ensemble. *Biosystema*, 24, 83-106.
- Gayon, J. (2004). « De la biologie comme science historique », *Sens public, dossier « La représentation du vivant – du cerveau au comportement »*. En ligne : <http://www.sens-public.org/spip.php?article32>.
- Gayon, J. (2002). Préface à « Exobiologie, aspects historiques et épistémologiques », *Cahiers François Viète*, Série I, 4, 5-7.
- Gohau, G. (2012). Des sciences palétiologiques (Whewell) aux archives de la nature. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3ème série, (tome 26, 3), 55-65.
- Gould, S. J. & Vrba, E. (1982). « Exaptation – a missing term in the science of form ». *Paleobiology*, 8(1), 4-15.
- Jacobi, D. (1994). « Du réseau à la carte : une analyse critique de la représentation graphique des concepts », *Didaskalia*, 5, 7-9.
- Laland, K., Uller, T., Feldman, M., Sterelny, K., Müller, G.B., Moczek, A., Jablonka E., Odling-Smee, J., Wray, G.A., Hoekstra, H.E., Futuyma, D.J., Lensky, R.E., Mackay, T.F.C., Schluter, D. & Strassmann, J.E. (2014) . « Does evolutionary theory need a rethink? » *Nature*, 514, 161-164.
- Lecointre, G. (2009) « Après la théorie synthétique, quelle biologie ? ». *TDC Darwin et le darwinisme*, 981, 16-19.
- Lecointre, G. (2004). « Le statut de la parcimonie ». *Biosystema*, 24, 7-14.
- Lederman, N. G. (2007). « Nature of Science: Past, Present and Future ». In S.K. Abell. & N.G. Lederman (éd.). *Handbook of research on science education*, Londres : Lawrence Erlbaum, 831-879.
- Mathe, S., Meheut M., & De Hosson C. (2008). « Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ». *Didaskalia*, 32, 41-76.
- Maurines, L., Fuchs-Gallezot, M., Ramage, M.-J. & Beaufils, D. (2013). « La nature des sciences dans les classes de seconde de physique-chimie et des sciences de la vie et de la Terre », *RDST*, 7. En ligne : <http://rdst.revues.org/674>
- Moliner, P. & Vidal, J. (2003). « Stéréotype de la catégorisation et noyau de la représentation ». *Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 1, 157-176.
- Morange, M. (2005). « Quelle place pour l'épigénétique ? ». *Médecine/Sciences*, 21 (4), 367-369.
- Orange, C. (2005). « Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages

scientifiques ». *Les sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle*, 38, 69-94.

Orange Ravachol, D. (2007). « Classifications biologiques et problématiques ». *Recherches en éducation*, 3. Revue du CREN en ligne : http://python.espe-bretagne.fr/sciences2008/ress-form/classif/D-Orange_revue_CREN_07.pdf

Syvänen, M. (1985). « Cross-species Gene Transfer; Implications for a New Theory of Evolution ». *Journal Theoretical biology*, 112, 333-343.

Tibergien, A., Veillard, L., Le Marechal, J.-C., Buty, C., Millar, R., (2001). « An analysis of labwork tasks used in sciences teaching at upper secondary school and university levels in several European countries ». *Science Education*, 85(5), 483-508.

Thèses

Brousseau, G., (1986). *Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*. Thèse d'état, université Bordeaux I.

Fortin, C., (1993). *L'évolution : du mot aux concepts, études épistémologiques sur la construction des concepts évolutionnistes et les difficultés d'une transposition adéquate*. Thèse de doctorat, Université Paris VII.

Mathe, S., (2010). *La "démarche d'investigation" dans les collèges français - Élaboration d'un dispositif de formation et étude de l'appropriation de cette nouvelle méthode d'enseignement par les enseignants*. Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot - Paris VII.

Michel-Bechet, J. (2013) *Le critère de démarcation de Karl R. Popper et son applicabilité*. Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III.

Rapport

Morel-Deville, F., Fontanieu, V., Pommier, M., (2009), « Savoirs scientifiques et Enseignement – La circulation des savoirs scientifiques dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre », Rapport d'enquête (volet 1), Lyon : INRP.

Monod-Ansaldi, R., et Prieur, M., (2011), « Représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie », Rapport d'enquête IFE-ENS de LYON.

Rocard, M., et al. (2007) *Science Education Now : a renewed pedagogy for the futur of Europe*. Commission européenne.

Publications du ministère de l'Éducation Nationale

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Ressources pour la classe terminale générale et technologique – thème 1 génétique et évolution », de seconde générale et technologique », MEN/DGESCO-IGEN, juillet 2012. (consultable sur http://cache.media.eduscol.education.fr/file/SVT/98/6/Genetique_et_evolution_219986.pdf).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de SVT-Classe terminale de la série scientifique », *Bulletin officiel spécial*, n°8, 13 octobre 2011. (consultable sur http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_8_men/01/2/SVT_S_197012.pdf).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Programme d'enseignement spécifique de sciences de la vie et de la Terre en classe de première de la série scientifique », *Bulletin officiel spécial*, n°9, 30 septembre 2010.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, «Programme d'enseignement spécifique de sciences en classe de première des séries économique et sociale et littéraire », *Bulletin officiel spécial*, n°9, 30 septembre 2010. (consultable sur http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_9/21/5/sciences_155215.pdf).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Programme de sciences de la vie et de la Terre en classe de seconde et technologique », *Bulletin officiel spécial*, n°4, 29 avril 2010. (consultable sur <http://www.education.gouv.fr/cid51319/mene1007274a.html>).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Ressources pour la classe de seconde générale et technologique », MEN/DGSCO, mise à jour 2 juillet 2010. (consultable sur http://cache.media.eduscol.education.fr/file/SVT/26/6/LyceesGT_Ressources_2_Commun_SVT_147266.pdf).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Ressources pour les classes de 6^e, 5^e, 4^e et 3^e du collège – principes généraux », *Direction générale de l'enseignement scolaire*, septembre 2009. (consultable sur http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Programmes/36/7/SVT_College_Ressources_Principes-generaux_117367.pdf).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Ressources pour la classe de troisième du collège », *Direction générale de l'enseignement scolaire*, septembre 2009. (consultable sur http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Programmes/35/9/SVT_College_Ressources_Programme-commentaire-troisieme_117359.pdf

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Ressources pour la classe de sixième du collège », *Direction générale de l'enseignement scolaire*, septembre 2009. (consultable sur http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Programmes/36/5/SVT_College_Ressources_Programme-commentaire-sixieme_117365.pdf).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, « Programme du collège – Programmes des sciences de la vie et de la Terre », *Bulletin officiel spécial*, n°6, 28 août 2008. (http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_6/52/9/Programme_SVT_33529.pdf).

ANNEXES

Annexe 1 : protocole d'enquête fourni aux enseignants.

Annexe 2 : graphique présentant le noyau central et le 1er noyau périphérique des enseignants pour le mot-stimulus « évolution »

Annexe 3 : graphique présentant le noyau central et le 1er noyau périphérique des enseignants pour le mot-stimulus « sélection»

Annexe 4 : graphique présentant le noyau central et le 1er noyau périphérique des enseignants pour le mot-stimulus « parenté»

Annexe 5 : graphique du rang maximal atteint chez les enseignants pour le mot-stimulus « évolution »

Annexe 6 : graphique du rang maximal atteint chez les enseignants pour le mot-stimulus « sélection »

Annexe 7 : graphique du rang maximal atteint chez les enseignants pour le mot-stimulus « parenté »

Annexe 8 : regroupements des items des enseignants pour le mot-stimulus « évolution »

Annexe 9 : regroupements des items des enseignants pour le mot-stimulus «sélection»

Annexe 10 : regroupements des items des enseignants pour le mot-stimulus « parenté »

Bonjour,

Je suis actuellement enseignante en SVT et doctorante en didactique des SVT au laboratoire H2SEP à Lyon-1. Je fais appel à vous dans le cadre de ma thèse. Ma problématique concerne l'enseignement de l'évolution dans des approches épistémologique et didactique. Une des étapes de ce travail consiste à étudier comment certains concepts de l'évolution sont mobilisés et structurés entre eux par les enseignants de SVT.

La méthodologie est adaptée de celle des réseaux d'associations, outil d'exploration issu de la sociologie. Les données recueillies resteront anonymes.

Merci de compléter les renseignements administratifs et professionnels en bas de cette page. La durée estimée est de 30 à 45 minutes pour l'ensemble des 3 concepts. Les consignes sont précisées au bas de cette page.

Merci de votre attention et de votre précieuse participation

Très cordialement

Fabienne Paulin

Les consignes à suivre pour chaque concept :

- 1) La première étape est un exercice d'associations d'idées. Pour chaque concept, inscrivez dans le tableau les mots (concept, nom, adjectif...) ou les expressions qu'il évoque sans aucune « censure », le plus rapidement possible, et dans un ordre spontané. Vous devez inscrire au moins 10 mots mais davantage si vous le désirez.
- 2) La seconde étape consiste à numéroter dans la colonne « ordre d'importance » les mots de la liste d'évocation en fonction de l'importance que vous leur accordez, par rapport au concept cité. Vous pouvez limiter cette numérotation aux 10 mots les plus importants. Si vous souhaitez insérer un rang a posteriori, vous pouvez utiliser des décimales (exemple : 1,5 entre 1 et 2). Si d'autres mots vous viennent à l'esprit, vous pouvez revenir à l'étape 1. Vous pouvez également numéroter de manière identique des mots qui vous semble avoir le même rang.
- 3) La dernière étape consiste à donner une définition des 5 premiers mots de la liste d'importance.

Remarque : ces données étant destinées à être « recodées », la syntaxe a peu d'importance.

Renseignements administratifs et professionnels (facultatif pour l'identité)

NOM : Prénom :

Mail :

Discipline enseignée :

Niveaux concernés :

Ancienneté dans l'enseignement :

Activités professionnelles annexes (Formation, recherche, CPA,...) :

Accepteriez-vous éventuellement de :

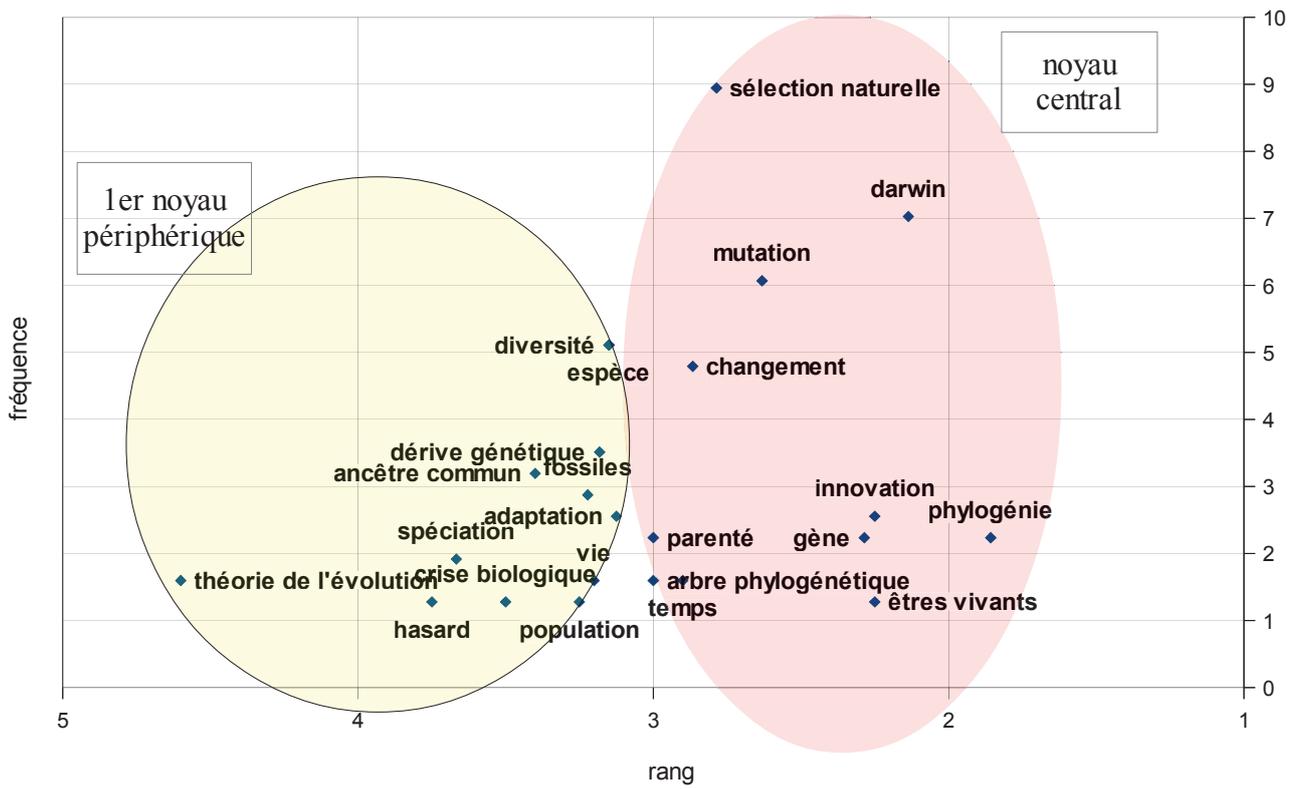
répondre à des questions complémentaires par courriel :	OUI	NON
participer à un entretien sur vos pratiques :	OUI	NON
m'autoriser à observer une séance d'enseignement :	OUI	NON

CONCEPT 1 : EVOLUTION			
Ordre d'évocation		Ordre d'importance De 1 à 20	Définitions (Pour les 5 premiers mots de l'ordre d'importance)
1			Mot 1 :
2			
3			
4			
5			
6			Mot 2 :
7			
8			
9			
10			Mot 3 :
11			
12			
13			
14			Mot 4:
15			
16			
17			
18			Mot 5 :
19			
20			

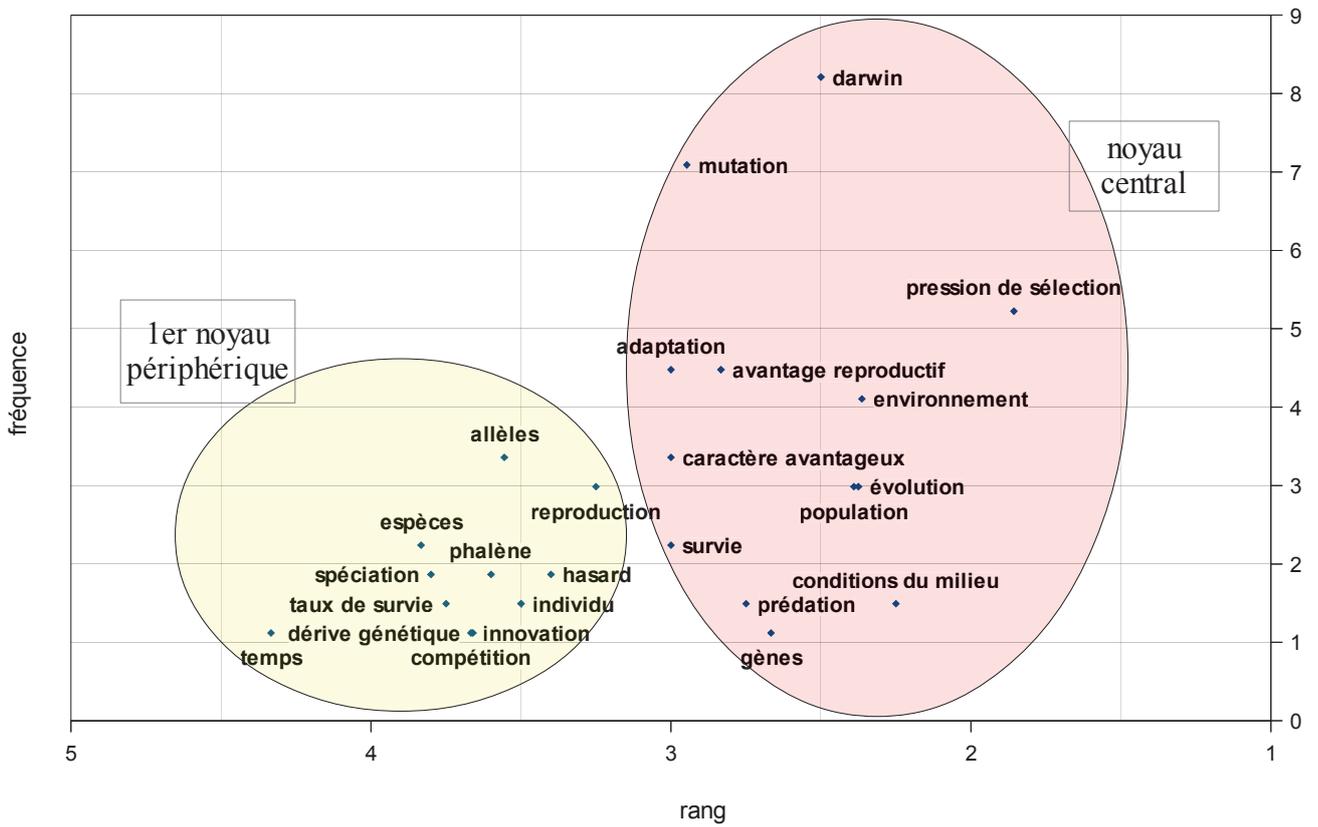
CONCEPT 2 : PARENTE (entre les êtres vivants)			
Ordre d'évocation		Ordre d'importance De 1 à 20	Définitions (Pour les 5 premiers mots de l'ordre d'importance)
1			Mot 1 :
2			
3			
4			
5			Mot 2 :
6			
7			
8			
9			Mot 3 :
10			
11			
12			
13			Mot 4:
14			
15			
16			
17			Mot 5 :
18			
19			
20			

CONCEPT 3 : SELECTION NATURELLE			
Ordre d'évocation		Ordre d'importance de 1 à 20	Définitions (Pour les 5 premiers mots de l'ordre d'importance)
1			Mot 1 :
2			
3			
4			
5			
6			Mot 2 :
7			
8			
9			
10			Mot 3 :
11			
12			
13			
14			Mot 4:
15			
16			
17			
18			Mot 5 :
19			
20			

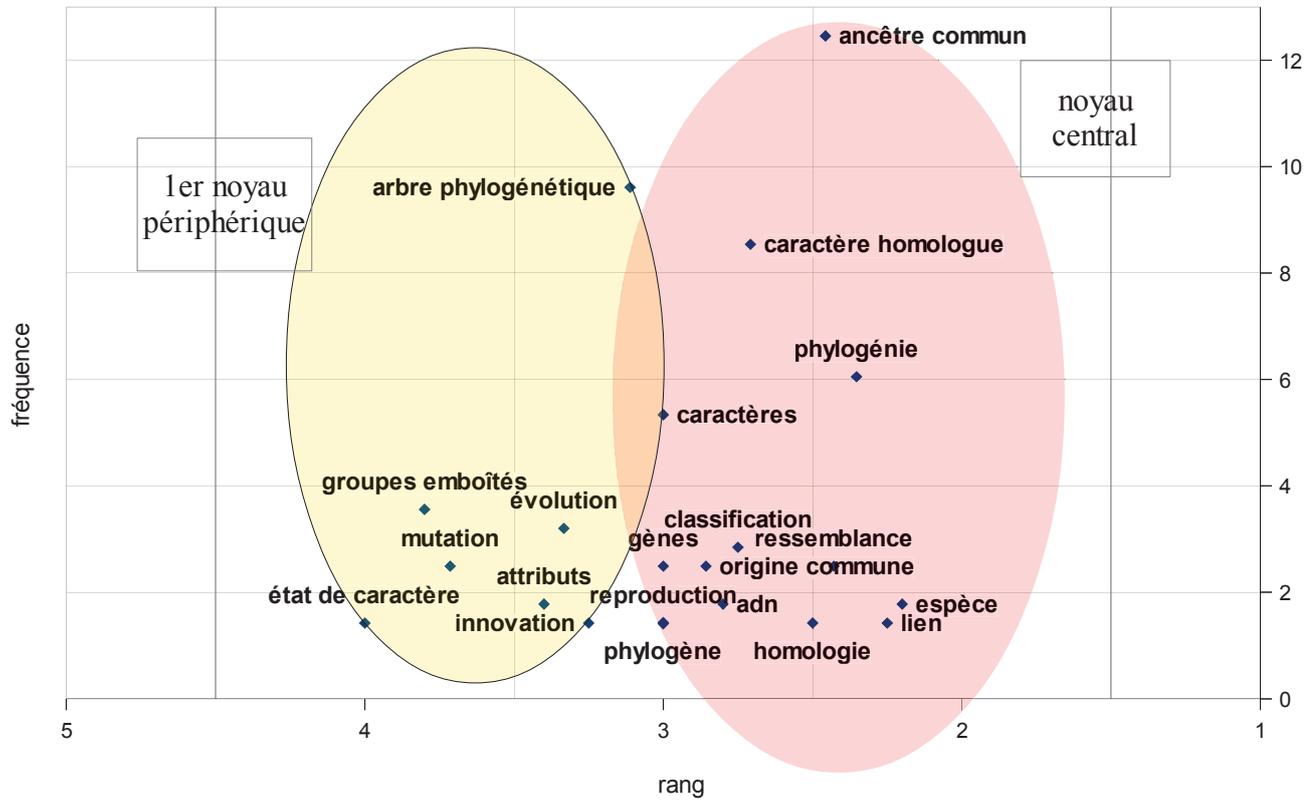
Noyau central et 1er noyau périphérique
 mot-stimulus "évolution" enseignant



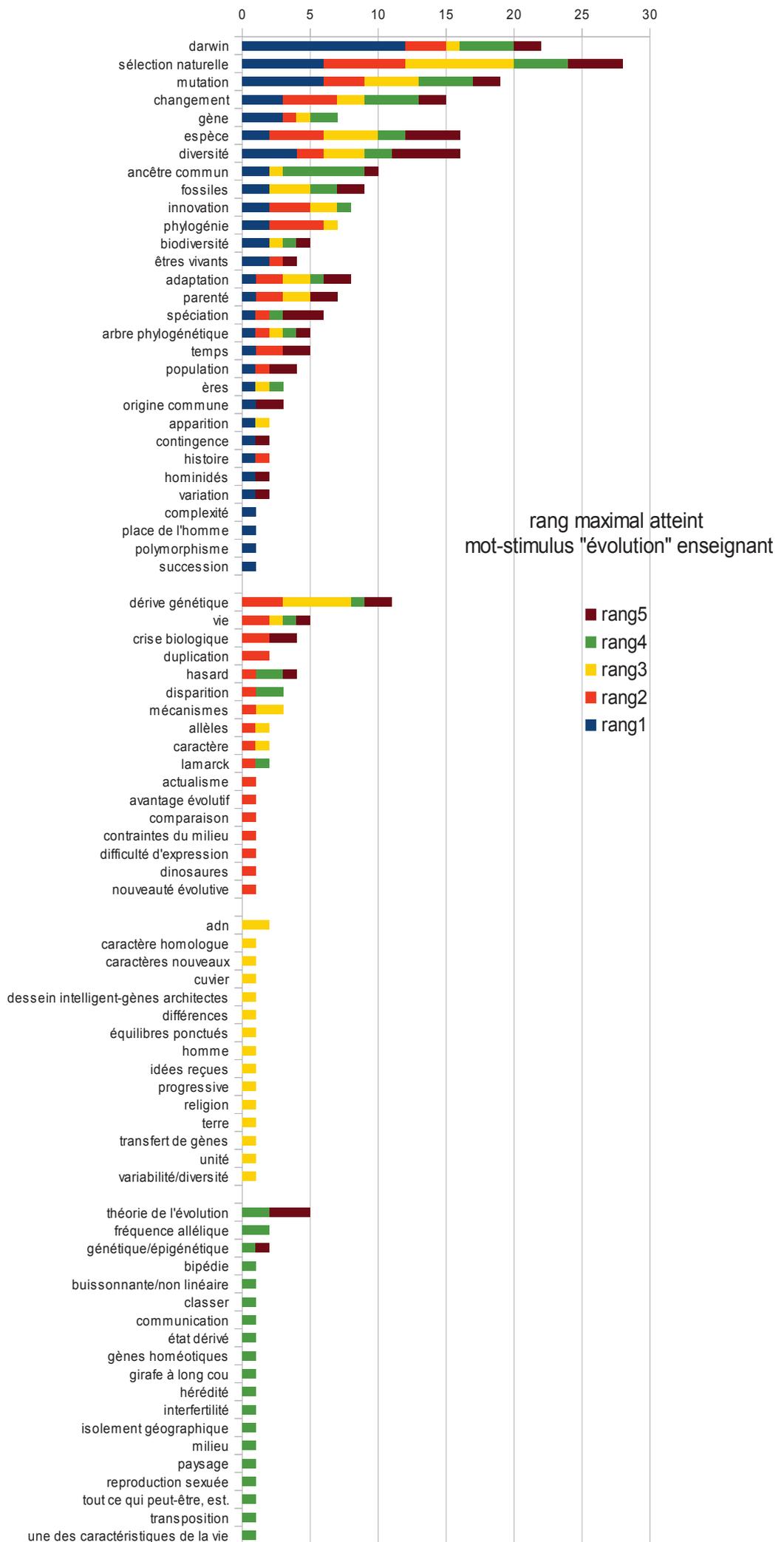
noyau central et 1er noyau périphérique
mot-stimulus "sélection" enseignants



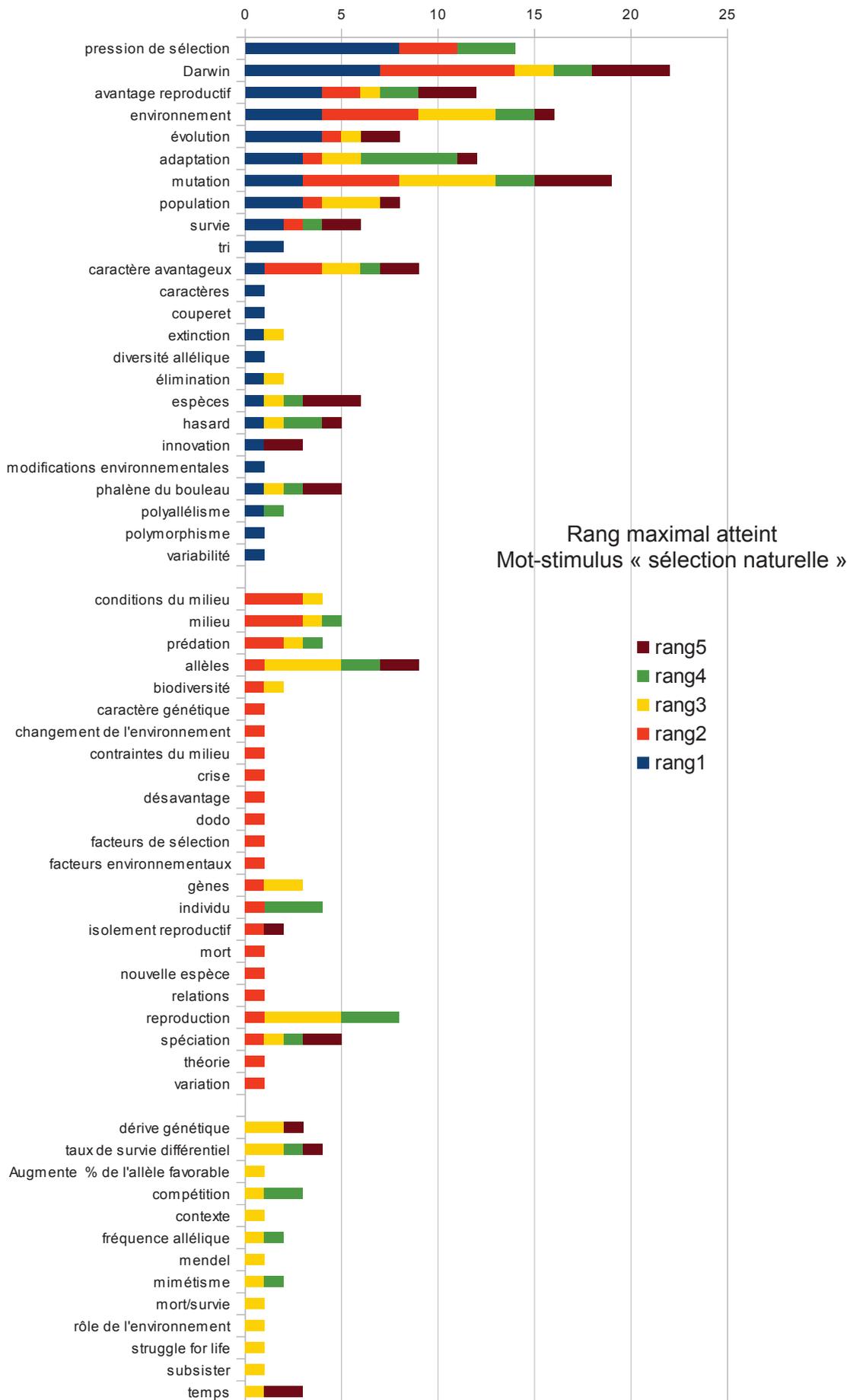
Noyau central et 1er noyau périphérique
mot-stimulus "parenté" enseignant



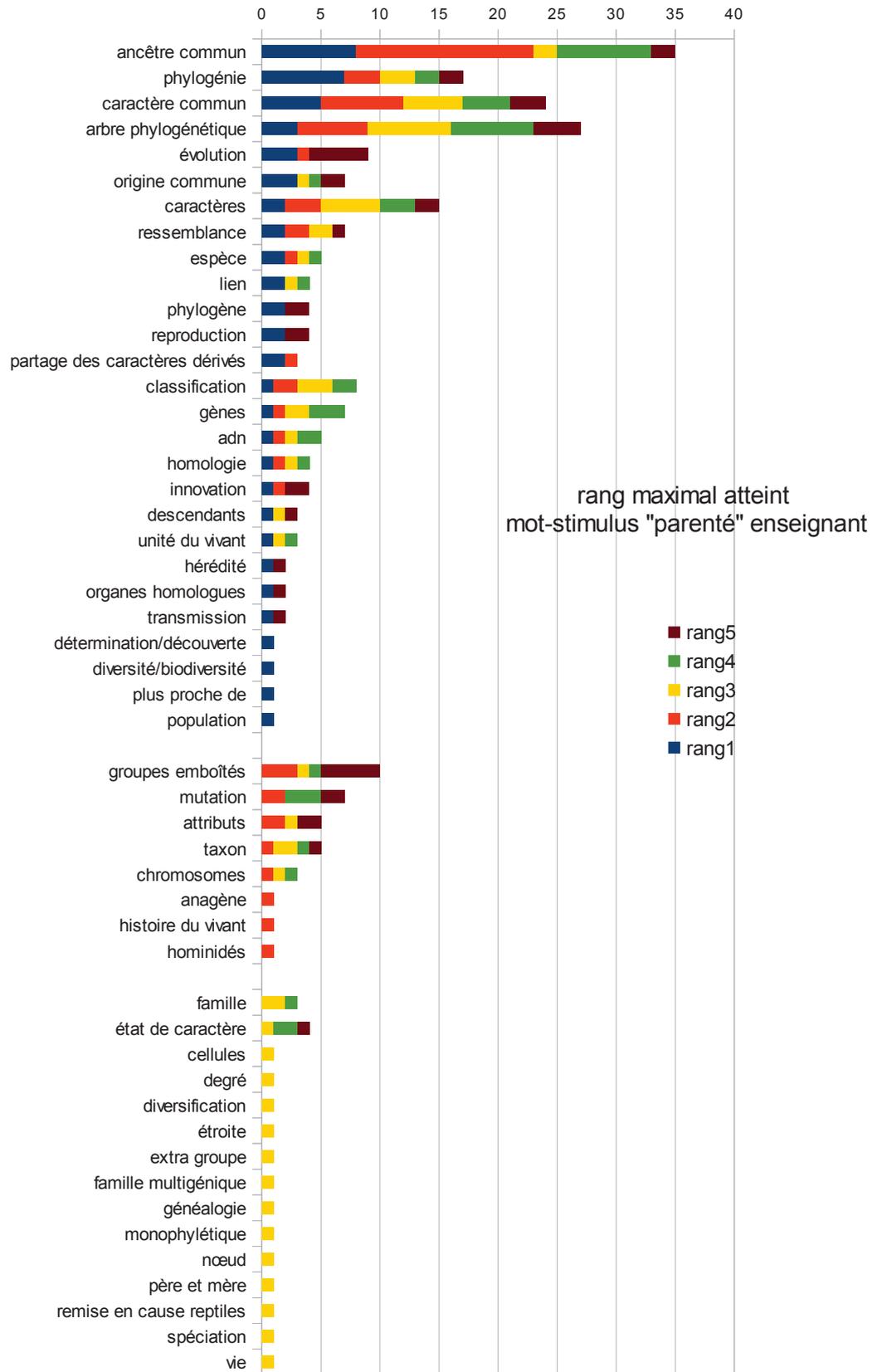
Annexe 5



Annexe 6



Annexe 7



Annexe 8	regroupements « évolution » enseignants
apparition	apparition nouvelles espèces
adaptation	adaptation au milieu
ancêtre commun	ancêtre, ancêtres communs
arbre phylogénétique	arbre, arbre de parenté, arbre évolutif, arbre généalogique, arbre/branches, arbre/cladistique, arbres, arbres phylogénétiques, arbres upgm
attribut	attribut/caractère
avantage	avantage évolutif
caractère homologue	caractères homologues, caractère dérivé, caractère ancestral, caractères ancestraux
caractère	caractères
changement	changements
classification	classer, classification par emboîtements
complexité	complexification
crise biologique	crise, crises, crises biologiques, crises de l'évolution,
dérive génétique	dérive
dinosaures	dinosaure
disparition	disparition d'espèces
diversité	diversification, diversité génétique, diversité des espèces, diversité intraspécifique
duplication	duplication génique, duplication-transposition
ères	ères géologiques
espèce	espèces, espèce animale, espèce végétale
êtres vivants	être vivant
extinction	extinctions
famille	familles
famille multigénique	familles multigéniques
fossiles	fossile, fossile-observation
gènes	gène
gènes du développement	gènes homéotiques
girafe	girafe à long cou
groupe	groupes
hérédité	héréditabilité
histoire	histoire de la vie, histoire de la terre, histoire du vivant
hominidés	hominidé

Annexe 8	regroupements « évolution » enseignants
innovation	innovation génétique, innovations, innovation évolutive
isolement géographique	isolement
lamarck	lamarck-transformisme, lamarckisme
mécanismes	mécanisme, mécanismes d'évolution, mécanisme, mécanismes génétiques
milieu	milieu de vie
modification	modification de l'environnement, modifications, modification au cours des temps géologiques
muséum	muséum d'histoire naturelle
mutation	mutation génétique, mutations, mutations ponctuelles, mutation ponctuelle effective, mutation neutre
origine commune	origine des espèces, origine
phylogénie	phylogenèse, phylogénétique, phylogène
polymorphisme	polyallélisme
polyploïdisation	polyploïdisation/hybridation
population	populations
progrès	progressive, progressivité
reproduction	reproduction sexuée
sélection naturelle	sélection, sélection sexuelle
singe	singes
temps	temps/durée, temps géologiques, temps/crises
théorie	théories de l'évolution, théorie de l'évolution
transfert de gènes	transferts de gènes
transformation	transformation des espèces, transformation du vivant, transformations anatomiques, physiologiques, moléculaires
unité	unité du vivant
variation	variations, variation des individus, variation génétique
vie	vivant

Annexe 9	regroupements « sélection » enseignants
adaptation	adaptation au milieu, adapté
alimentation	alimentation disponible
allèle	allèle défavorable ; allèle favorable ; allèle rare ; allèles allèles/gènes
avantage	avantage /désavantage avantage évolutif avantage reproductif avantage sélectif
caractère	caractères
caractères avantageux	caractère avantageux
conditions du milieu	condition du milieu, condition de vie
crises biologiques	crise, crises, crise biologique
désavantage	désavantage relatif, désavantage productif, désavantage sélectif
extinction	disparition, disparition/extinction
espèce	espèces, espèce animale, espèces végétales
fréquence allélique	fréquence, fréquence variable, fréquences allélique
gènes	gène, génome
individu	individus
isolement géographique	isolement d'une population isolement génétique isolement reproductif
loi du plus fort	le plus fort les plus faibles disparaissent loi du plus adapté
milieu	milieu de vie
modification	modification à l'échelle des temps géologique modifications environnementales
mutation	mutation génétique ; mutations ; mutations défavorables ; mutations favorables ; mutations neutres ; mutations silencieuses
phalène du bouleau	phalène, papillon, papillon blanc/gris
pinson	pinson de darwin ; pinsons ; pinsons des galapagos
population	populations
pression de sélection	pression pression de l'environnement pression du milieu pression environnement pression sélective
reproduction	reproduction sexuée
survie	survie du plus apte
temps	temps géologique

Annexe 10	regroupements « parenté » enseignant
adn	adn universel
ancêtre commun	anatomie ; ancêtre ; ancêtre commun hypothétique ; ancêtres ; ancêtres communs dernier ancêtre commun
arbre phylogénétique	arbre ; arbre d'évolution ; arbre de distance ; arbre de parenté ; arbre généalogique arbres phylogénétiques
attributs	attribut ; attributs caractères partagés ; attributs/caractères
cellule	cellule/adn ; cellules
caractères	caractère ; caractères embryologiques ; caractère morphologique ; caractère nouveau ; caractères morphologiques ; caractère(s) moléculaire(s) ; caractère héréditaire
caractères homologues	caractère ancestral ; caractère commun ; caractère dérivé ; caractère homologue caractère partagé ; caractères ancestraux ; caractères communs ; caractères dérivés caractères homologues ; caractères partagés
classification	classification par emboîtement ; classification phylogénétique
cousins	cousin
crise biologique	crises biologiques
descendance	descendance féconde ; descendant ; descendants
distance génétique	distances génétiques
diversité	diversité du vivant ; diversité/biodiversité
duplication	duplications géniques
espèce	espèces ; espèces proches
état de caractère	état ancestral ; état dérivé ; états dérivés ; états dérivés et ancestraux ; états primitifs
famille multigénique	familles multigéniques
fossiles	fossile ; fossile ancien
gènes	gène ; gènes homéotiques ; génétique ; génome
groupes emboîtés	groupe ; groupe frère ; groupe monophylétique ; groupes ; groupes de parenté groupes monophylétiques
hominidés	homininés ; homme
homologie	homologie / analogie ; homologues ; homologue
innovation évolutive	innovation ; innovation (partage) ; innovation génétique ; innovations innovations génétiques
liens	lien ; lien de parenté
matrice	matrice de caractères ; matrice des caractères ; matrice des distances ; matrices de caractères

Annexe 10	regroupements « parenté » enseignant
molécule	molécules
mutation	mutations
origine commune	origine ; origine ancestrale
parenté moléculaire	parenté à l'échelle moléculaire ; parentés moléculaires
partage de caractères dérivés	partage ; partage de caractères homologues ; partage des caractères dérivés
phylogénie	phylogenèse
points communs	point commun
reproduction	reproduction sexuée ; reproduction/interfécondité
ressemblances	ressemblance ; ressemblance/différence ; ressemblances morphologiques ; ressemblances/analogie ; ressemblances/différences ; similitudes
taxons	taxon ; taxon lazare
transmission	transmission des caractères
unité du vivant	unité ; unité des êtres vivants