HAL open science

L'enseignement de l'évolution : redonner une place à l'épistémologie des sciences historiques

Fabienne Paulin, Sylvain Charlat, Eric Triquet

To cite this version:

Fabienne Paulin, Sylvain Charlat, Eric Triquet. L'enseignement de l'évolution : redonner une place à l'épistémologie des sciences historiques. RDST - Recherches en didactique des sciences et des technologies , 2019. hal-03076890

HAL Id: hal-03076890

https://cnrs.hal.science/hal-03076890v1

Submitted on 12 Jan 2021

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.

L'enseignement de l'évolution : redonner une place à l'épistémologie des sciences historiques

FABIENNE PAULIN
Université de Lyon, université Lyon 1, S2HEP

SYLVAIN CHARLAT
CNRS-université de Lyon, UMR 5558, laboratoire biométrie et biologie évolutive

ÉRIC TRIQUET
Université d'Avignon, Centre Norbert Elias

RÉSUMÉ : Les sciences du vivant et de la Terre (SVT) mobilisent des démarches et des raisonnements des sciences fonctionnalistes et des sciences historiques. Pourtant, l'enseignement des SVT dans le secondaire français est aujourd'hui très orienté vers les démarches de type fonctionnaliste, impliquant des phases d'expérimentation, et laisse peu de place à l'épistémologie des sciences historiques. L'étude présentée montre comment ce déséquilibre peut se traduire dans des démarches d'enseignement. Face à un objet d'étude relevant des sciences historiques, l'arbre phylogénétique, nous constatons que l'enseignant est amené à proposer une démarche fonctionnaliste, en lieu et place de la démarche historique qui serait pourtant appropriée. Ainsi, restreindre les SVT au seul cadre fonctionnaliste semble contraindre la réflexion et empêcher l'enseignement des différentes modalités épistémologiques de ce vaste champ disciplinaire, notamment des modes de validation autres qu'expérimentaux. Cette tendance, repérée à la fois dans les textes programmatiques et dans les pratiques enseignantes, révèle peut-être un rapport pour le moins délicat à l'incertitude dans l'enseignement des sciences, en partie déconnecté de l'épistémologie scientifique contemporaine.

MOTS CLÉS : épistémologie, didactique, phylogénie, sciences empiriques

ABSTRACT: Life and earth-sciences rely on a variety of rationales, that can be broadly classified into "functional" and "historical" categories. The first deals with mechanisms and largely relies on experimental approaches, while the second is involved in the inference of past events, on the basis of multiple concordant observations. Yet, official programs in high school are heavily biased toward the first cagegory, with little space devoted to historical sciences. Here we investigate the consequences of this uneven treatment on teaching practices. Focusing on the reconstruction of phylogenetic trees in the classroom, we show that mechanistic approaches tend to be proposed instead of the appropriate historical approaches. Thus, limiting life and earth sciences to functional sciences appears to narrow the possibilities of the teacher and prevent a more complete and appropriate presentation of this vast discipline and its epistemological foundations. This tendency, patent both in the official texts and in teaching practices, might reveal a difficulty to present and discuss in the classroom the part of uncertainty inherent to any scientific knowledge, and a deep disconnection from actual research practices.

KEYWORDS: epistemology, didactics, phylogeny, empirical sciences

Introduction

Les connaissances et compétences épistémologiques sont aujourd'hui un objectif de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT). Il est, par exemple, demandé aux enseignants « de consacrer du temps pour faire comprendre ce qu'est le savoir scientifique, son mode de construction et son évolution au cours du temps[1] ». Le cours de sciences, lieu d'apprentissage des connaissances notionnelles, doit donc également sensibiliser les élèves aux raisonnements et démarches scientifiques, en les insérant dans leur contexte historique.

Ce double objectif institutionnel rend incontournable la prise en compte par les enseignants des spécificités épistémologiques des sciences du vivant et des sciences de la Terre. Ces deux domaines disciplinaires sont en effet envisagés, par plusieurs auteurs, comme étant en tension entre d'une part les pratiques des sciences dites « historiques[2] » – quand il s'agit de reconstituer l'histoire de la Terre et du vivant – et d'autre part celles des sciences « fonctionnalistes » – lorsqu'il importe d'expliquer les mécanismes en jeu – (Orange Ravachol, 2012 ; Gayon, 2004). Cette dualité épistémologique se trouve particulièrement représentée au sein des sciences de l'évolution, pilier central de l'enseignement des SVT, dont les objets d'étude, les *patterns* (les structures historiques du vivant) et les *process* (les mécanismes de l'évolution) mobilisent, selon les problèmes posés, les pratiques des sciences historiques et/ou celles des sciences fonctionnalistes (Lecointre, 2009 ; Pigliucci, 2013).

Dès lors deux questions nous apparaissent centrales : quelles pratiques et démarches d'enseignement sont préconisées par l'institution scolaire pour atteindre les objectifs épistémologiques prescrits et comment sont-elles mises en œuvre par les enseignants de SVT ? Elles ont guidé et structuré un travail de thèse (Paulin, 2015), partiellement repris dans cet article qui se propose de poursuivre la réflexion engagée.

Une analyse épistémologique des programmes actuels du secondaire[3] nous a permis de repérer les points saillants et les points aveugles du discours institutionnel sur la nature des sciences et d'identifier des choix méthodologiques. Il apparaît que c'est par le biais d'une démarche d'investigation (DI) que l'apprenant doit acquérir les connaissances épistémologiques. Cependant, les modalités de la DI exposées dans ces textes, ne recouvrent que partiellement la diversité épistémologique des SVT. Par exemple, le mode de validation privilégié est la confrontation aux données empiriques selon un raisonnement clairement hypothético-déductif mobilisé autour d'activités de laboratoire. Or ce positionnement épis-

1 *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale*, spécial n°4 du 29 avril 2010. Introduction commune aux trois années du lycée.

2 La notion de « sciences historiques » est surtout mobilisée dans le champ des sciences humaines et sociales (histoire, sociologie, anthropologie, etc.). Nous les discutons ici uniquement dans le champ de la biologie et de la géologie.

3 Programme de SVT du collège (cycle 4, 2016) et du lycée (2010). Disponibles en ligne sur le site eduscol. Pour le cycle 4 : <http://eduscol.education.fr/pid34185/cycle-4.html> ; pour le lycée : <http://eduscol.education.fr/pid26017/programmes-du-lycee.html >.

témologique, s'il convient aux objets d'études isolables et reproductibles en laboratoire, n'est pas mobilisable pour certains objets des sciences historiques comme la crise Crétacé-tertiaire ou l'origine de la vie, qui restent inaccessibles à l'observation directe.

C'est donc essentiellement une épistémologie restreinte aux pratiques des sciences fonctionnalistes qui est présentée et promue dans les textes officiels (Paulin, Charlat & Triquet, 2018). À l'inverse les raisonnements et les modes de validation mobilisés dans les sciences historiques, sans en être absents, sont peu explicites. Ce constat nous a naturellement conduits à questionner les pratiques des enseignants eux-mêmes, sur des thèmes majeurs de la biologie évolutive reposant sur des approches historiques comme la phylogénie, c'est-à-dire l'étude de la parenté entre les êtres vivants.

Le but est d'accéder à l'épistémologie qui sous-tend le travail de conception des enseignants sur une thématique ne relevant pas des sciences fonctionnalistes. L'analyse didactique et épistémologique s'appuie sur un corpus de 20 fiches d'activités sur ce thème, élaborées par des enseignants de SVT du secondaire, et validées par l'institution, via leur mise en ligne sur des sites académiques. La grille d'analyse utilisée croise des critères épistémologiques propres aux sciences historiques et des critères didactiques permettant de caractériser ces démarches.

Notre analyse met en évidence des convergences entre les attendus institutionnels et les pratiques enseignantes notamment dans la mesure où les activités proposées reprennent certaines étapes de la DI. Mais au-delà de ce résultat attendu, un second, plus problématique apparaît : les démarches proposées dans le cadre de l'enseignement de la phylogénie mobilisent de manière quasi exclusive l'épistémologie des sciences fonctionnalistes, conduisant à certaines impasses conceptuelles majeures, susceptibles de brouiller le rapport au « vrai » des élèves dans le champ de la biologie évolutive. Notre travail soulève alors plus largement la question de la prise en compte de l'incertitude scientifique dans l'enseignement des SVT tant au niveau des programmes que des pratiques enseignantes.

Trois parties structurent notre article. La première s'intéresse aux critères épistémologiques de démarcation entre sciences historiques et sciences fonctionnalistes et aux fondements épistémologiques de la phylogénie. La deuxième partie montre comment ces éléments sont explicités dans les programmes de SVT. Enfin, l'étude des fiches d'activités élaborées par les enseignants est présentée et discutée dans la dernière partie.

1. L'épistémologie contemporaine de l'évolution : tension entre sciences historiques et sciences fonctionnalistes

1.1. Essai de définition

Les « sciences de la matière » ou « sciences empiriques » ou du *réel sensible* apparaissent à partir du XVIIe siècle sous l'influence de Francis Bacon, qui défend une science fondée

uniquement sur l'observation (dans le sens de l'expérience sensible) et l'expérimentation (Delsol, 1985). Leur objectif est la description du monde selon des critères de scientificité appliqués aux éléments matériels. Les sciences historiques et fonctionnalistes, dont nous parlons ici, s'inscrivent toutes deux dans ce cadre général.

Dans le monde scolaire c'est l'expression « sciences expérimentales » qui est utilisée pour nommer les SVT. D'un point de vue épistémologique, ce terme est approprié puisque les sciences « expérimentales » incluent à la fois les sciences dont la méthodologie autorise « l'expérimentation » et celles utilisant les données issues de « l'expérience sensible ». Si l'on tient compte des deux versants de cette 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 et c'est bien dans ce sens qu'elles se sont constituées historiquement (Madelrieux, 2010). Cependant dans le monde scolaire, l'analyse des textes programmatiques montre que l'expression « sciences expérimentales » fait très majoritairement référence aux approches expérimentales au sens strict, et laisse de côté les sciences historiques. Puisque son sens « scolaire » ne recouvre pas totalement sa diversité épistémologique, nous éviterons ici d'utiliser l'expression « sciences expérimentales ».

Tâchons maintenant de préciser les contours des sciences historiques. Ces dernières portent sur la répartition spatio-temporelle de différentes entités matérielles. Dans le cadre de l'évolution, il s'agit d'étudier les structures du vivant dans une perspective historique et les relations causales de leur enchaînement temporel. Citons pour exemple, la paléontologie, l'anatomie comparée ou la phylogénie (Lecointre, 2009). Elles tentent d'expliquer l'agencement du monde dans une approche dynamique. Dans le champ de l'évolution, les structures étudiées sont les êtres vivants (fossiles et actuels) et leur déploiement présent et passé.

Les sciences fonctionnalistes portent sur les processus, les mécanismes, supposés permanents et ubiquistes, à l'œuvre dans ces mêmes entités matérielles et les lois générales qui les sous-tendent. Dans les sciences de l'évolution, c'est le fonctionnement des êtres vivants qui est ici investi, aussi bien à l'échelle individuelle qu'à celles de la population, de l'espèce ou de l'écosystème. La diversification des génomes par le biais des mutations, ou les processus de sélection naturelle et de dérive génétique, sont ainsi des objets des sciences fonctionnalistes.

Les objectifs de connaissances sont clairement différents : les sciences historiques cherchent à expliquer les séries causales d'événements historiques, alors que les sciences fonctionnalistes cherchent les lois générales sous-jacentes. Jean Gayon résume ces différences dans le propos suivant :

> « 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, p. 7)

L'épistémologie contemporaine de l'évolution s'inscrit pleinement dans ce cadre qui structure les deux objectifs poursuivis par les évolutionnistes depuis Darwin : expliquer le développement généalogique du monde vivant depuis l'origine de la vie sur Terre, dans ses composantes historiques et dans ses composantes fonctionnelles. Cette distinction assumée des types de sciences mobilisées par la biologie évolutive devrait en toute logique être également structurante dans son enseignement.

1.2. Caractériser les sciences historiques et fonctionnalistes

L'analyse épistémologique des fiches d'activités sur la phylogénie que nous présentons plus loin nécessite d'identifier des marqueurs qui nous permettront de caractériser des éléments relevant spécifiquement des sciences fonctionnalistes ou historiques. Nous nous intéressons spécialement ici à la nature des objets d'études, les raisonnements mobilisés et les modes de validation. Le tableau suivant récapitule les particularités épistémologiques des sciences historiques et fonctionnalistes, dont nous développons certains aspects dans le paragraphe suivant.

Tableau 1. Les spécificités épistémologiques des sciences fonctionnalistes et historiques

	Science fonctionnaliste	**Science historique**
Autres terminologies	*Science des processus* *Science nomologique*	*Science des structures* *Science palétiologique*
Définition générale	Science portant sur les mécanismes permanents et ubiquistes à l'œuvre dans les entités matérielles et les lois qui les sous-tendent.	Science portant sur la répartition spatio-temporelle d'entités matérielles et les relations causales de leur enchaînement.
Type de raisonnement	Abductif, inductif et déductif	Abductif et inductif
Administration de la preuve	Validation par l'expérimentation	Validation par la mise en cohérence de données convergentes : « monstration »
Caractéristiques des objets d'étude	Particuliers et universaux, 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	Process : mutation, sélection naturelle, dérive génétique…	Patterns (historiques[a]) : la parenté entre les êtres vivants (phylogénie), les crises biologiques, l'origine de la vie...

a. Nous explicitons cet adjectif dans le paragraphe suivant.

D'après le tableau de Lecointre (2011)

Nous explicitons à présent les éléments présentés.

1.2.1. Les objets d'études des sciences de l'évolution : *process* et *patterns*

Dans le monde des évolutionnistes, la distinction entre sciences historiques et fonctionnalistes se manifeste notamment par l'utilisation des termes *patterns* et *process* pour qualifier deux catégories bien distinctes d'objets.

Le terme *process* désigne l'ensemble des mécanismes biologiques impliqués dans la transformation du monde vivant et ceci à tous les niveaux d'organisation : moléculaire, cellulaire, organismique, populationnel, écosystémique. La liste suivante présente des exemples de *process* évolutifs qui sont également des objets d'enseignement dans le secondaire : la mutation ; l'hérédité ; la reproduction ; la sélection ; la dérive génétique ; la spéciation ; l'adaptation[4], etc.

Le terme *pattern* désigne quant à lui les structures matérielles du vivant, existantes et passées, 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* de l'évolution forment un groupe moins homogène que celui des *process*. Il comprend selon nous des éléments qui se rattachent à deux sous-catégories.

La première comprend les structures « matérielles » du vivant actuelles et passées (un être vivant, une cellule, un phénotype ou un fossile) ; il s'agit là d'objets actuels et observables, mais qui sont le résultat d'une histoire, et peuvent être étudiés dans cette perspective. La seconde sous-catégorie englobe les objets correspondant au déploiement historique du monde vivant, soit de manière globale (l'histoire du vivant telle qu'elle s'est déroulée), soit dans un intervalle de temps donné (l'origine du vivant, la crise crétacé-tertiaire, etc.). Ces objets ne sont jamais accessibles ni observables dans leur globalité, puisqu'ils constituent des reconstructions théoriques et immatérielles de l'histoire du vivant. Nous les nommons *patterns* « historiques » pour les différencier des précédents, les *patterns* matériels.

Demandons-nous maintenant quel type de science(s) mobilisent ces différents objets. Les process de l'évolution sont essentiellement étudiés dans le cadre des sciences fonctionnalistes notamment par des approches expérimentales. Citons par exemple les premières expériences de Philippe Héritier et Georges Teyssier mettant en pratique le principe de sélection naturelle chez la drosophile dans les années trente (L'Héritier & Teissier, 1934). Notons cependant que des approches historiques peuvent être également employées pour étudier les mécanismes de l'évolution ; certaines méthodes de phylogénie moléculaire, par exemple, permettent de préciser les processus mutationnels se produisant le long des branches des arbres reconstruits.

De la même manière, les *patterns* de l'évolution peuvent mobiliser les sciences fonctionnalistes ou historiques selon le sous-groupe considéré. Les *patterns* historiques, non obser-

4 Nous classons l'adaptation dans les *process* car les chercheurs en évolution la décrivent ainsi. Mais attention, nous parlons dans ce cas d'une adaptation sans intention ni finalité, sous l'effet de la sélection.

vables et non isolables en laboratoire, sont nécessairement et uniquement étudiés dans le cadre des sciences historiques. Ainsi en est-il des reconstructions phylogénétiques, dont nous présenterons l'épistémologie dans la partie suivante. Les *patterns* matériels peuvent quant à eux être appréhendés au sein des sciences fonctionnalistes ou historiques, selon le type de problème abordé. Nous pouvons par exemple chercher à déterminer le génotype d'un individu à un locus donné, par le biais de méthodes moléculaires, ce qui correspond à un problème fonctionnaliste. Mais nous pouvons également étudier ce génotype sous un angle historique, en questionnant par exemple l'origine et le type de mutations qui ont généré ce génotype.

1.2.2. Les types de raisonnement et le mode de validation

Les types de raisonnement mobilisés constituent sans doute le critère de différenciation le plus important entre sciences historiques et sciences fonctionnalistes, et seront décisifs dans notre analyse des fiches d'activités. Comprendre cette distinction nécessite de préciser ici les relations entre trois processus cognitifs fondamentaux : l'induction, la déduction et l'abduction. Nous noterons que ces processus sont impliqués à des degrés différents dans les deux phases qui décomposent toute démarche scientifique : la phase de découverte et la phase de justification (Fitzhugh, 2005). La phase de découverte, où sont élaborées les hypothèses, mobilise l'abduction et l'induction que ce soit pour des problèmes fonctionnalistes ou historiques. Cependant, et nous le développons ci-dessous, la phase de justification est dominée par la déduction dans les sciences fonctionnalistes et par des raisonnements plutôt abductifs dans les sciences historiques.

L'induction consiste à remonter d'observations ponctuelles (faits, expériences, etc.) à des propositions générales. Elle permet de passer des cas particuliers à la loi, ou des expériences à la théorie (Tiercelin, 2006). Cette étape de généralisation, bien qu'indispensable à l'activité scientifique, ne peut être justifiée du point de vue de la logique formelle : la conclusion d'une induction n'est jamais valide à coup sûr puisqu'elle extrapole à partir de quelques cas l'uniformité d'un ensemble qui ne peut être totalement répertorié. Ce degré d'incertitude a été au cœur de controverses célèbres sur la nature des sciences, qui ont occupé les milieux philosophiques et scientifiques depuis le XVIe siècle (Hume, 1748 ; Popper, 1978). Cependant dans le cadre de la phase de découverte d'une démarche scientifique, l'élément nouveau inféré par induction peut avoir valeur d'hypothèse qui devra être testée dans la phase de justification.

Dans le même esprit, l'abduction, procède également de l'élaboration des hypothèses. Mais au contraire de l'induction, qui prétend à un degré de généralisation élevé, elle est mobilisée pour proposer des explications à des cas particuliers. Ce mode de raisonnement permet en effet « d'expliquer un phénomène ou une observation à partir de certains faits, événements ou lois » (Koriche & Sallantin, 2006, p. 1). L'abduction peut également être définie comme « l'inférence à la meilleure explication » (Fitzhugh, 2005 ; Barberousse, 2005). L'utilisation la plus commune et connue de l'abduction est le raisonnement par diagnostic

utilisé en médecine. Différents symptômes sont mis en cohérence pour identifier la pathologie d'un seul individu ou plutôt pour proposer un diagnostic qui n'est jamais certain. Ce sont les résultats du traitement engagé qui pourra éventuellement apporter une certaine validation *a posteriori*. C'est en cela que Peirce (1934) la considère au fondement de la construction d'une hypothèse qu'il définit d'ailleurs comme une « inférence abductive ».

Retenons que l'induction et l'abduction, parce qu'elles conduisent à des propositions contenant un élément de nouveauté par rapport aux prémisses mobilisées, sont génératrices d'hypothèses, c'est-à-dire de propositions qu'il faudra tester. Et en ce sens elles sont mobilisées dans l'ensemble des démarches scientifiques, historiques comme fonctionnalistes. C'est davantage dans la phase de validation des hypothèses que nous pouvons identifier des différences dans les raisonnements mobilisés par les deux types de sciences dont nous parlons. Dans le cadre des sciences historiques, la validation expérimentale, comprenant une part de déduction, est impossible du fait de l'inaccessibilité matérielle des objets : la phase de validation mobilise alors un raisonnement abductif. Dans le cadre des sciences fonctionnalistes, la validation par l'expérience en laboratoire est possible et mobilise un processus déductif, dans un sens restreint cependant, que nous allons maintenant préciser.

La déduction dans sa définition générale est le type d'inférence qui conduit de prémisses vraies (ou admises comme telles) à une conclusion nécessaire et inévitable. 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 et donc des sciences logico-formelles. Ce type de raisonnement est également utilisé dans les sciences de la matière, telles que les sciences fonctionnalistes, mais avec une nuance de taille cependant. En mathématiques, la valeur des prémisses n'est pas mise en question : celles-ci constituent des axiomes, nécessairement vrais ou admis comme tels. Le but du raisonnement est ici de valider sa conclusion (tous les C sont B). Au contraire, dans les sciences de la matière, le raisonnement est précédé d'un « si », et comprend un conditionnel : « *Si* tous les A sont B ; et *si* tous les C sont A, alors tous les C *devraient* être B ». En d'autres termes, les prémisses sont ici des hypothèses que l'on souhaite soumettre à l'expérience (Delsol, 1985 ; Barberousse, 2005) : on parlera d'une approche « hypothético-déductive ». Si le résultat attendu est bien observé, on pourra conclure à la validité, non pas de la conclusion (qui est en fait une observation : tous les C sont A), mais des prémisses (tous les A sont B et tous les C sont A). Il est clair que cette validation expérimentale n'atteint en aucun cas le degré de certitude d'un raisonnement mathématique. D'une part, le nombre d'expériences étant limité, on retrouve ici une incertitude associée à la généralisation de l'observation. D'autre part, d'autres hypothèses, envisagées ou non, peuvent être compatibles avec le résultat observé. Ainsi, les hypothèses conservées ne peuvent accéder au statut de vérité accordé aux axiomes mathématiques, et l'on pourra parler dans ce cadre de « déduction faible ».

Dans le cadre des problèmes historiques, c'est-à-dire de reconstitution de l'histoire du vivant, le mode de validation est le plus souvent différent. Les objets étudiés sont historiquement situés, n'ont existé qu'une seule fois et sont, de fait, inaccessibles au test expérimental.

C'est donc par accumulation de données convergentes que l'hypothèse va atteindre un certain degré de validation. Nous ne pouvons pas avoir accès par exemple à la crise biologique Crétacé-tertiaire dans son ensemble. Cependant l'hypothèse d'un impact météoritique a été corroborée par la recherche d'indices variés et convergents qui rendent au final vraisemblable l'occurrence d'un tel événement bien qu'aucun d'entre eux ne soit suffisant à lui seul pour valider l'hypothèse. Cette investigation sur des indices factuels que C. Fortin (2011) appelle « une enquête critique » nécessite de faire parler le terrain, c'est-à-dire d'associer des « traces muettes » à un corpus théorique, dans des raisonnements de type abductif. On parle de cohérentisme pour ce mode de validation qui est essentiellement cumulatif, comparatif et abductif (Triquet & Paulin, 2017). Par souci d'exhaustivité, notons que l'approche hypothético-déductive peut occasionnellement intervenir dans le cadre des sciences historiques : on peut par exemple *prédire* l'existence de certains fossiles, sous certaines *hypothèses* évolutives, et tester ces hypothèses par la recherche des fossiles en question.

D'une manière générale, retenons que c'est avant tout sur le mode de validation de la preuve que les sciences historiques et fonctionnalistes se différencient : validation expérimentale mobilisant des processus déductifs pour les problèmes fonctionnalistes et cohérence maximalisée des données pour les problèmes historiques, mobilisant des raisonnements abductifs. Le mode de validation, et la manière dont sont formulées les conclusions, constitueront donc nos principaux critères d'analyse des énoncés.

1.3. La phylogénie, une discipline inscrite dans l'épistémologie des sciences historiques

Cette sous-partie peut être introduite par la question suivante : en quoi la phylogénie s'inscrit-elle dans l'épistémologie d'une science historique ? Construire une phylogénie (sous forme d'un arbre phylogénétique), c'est d'abord se donner pour objectif de préciser les degrés d'apparentement d'un ensemble d'êtres vivants. Comme le note Kevin Padian en faisant référence à Hennig, fondateur de la cladistique[5], « la phylogénie n'est en définitive rien d'autre que l'ordre d'ascendance commune des êtres vivants » (Padian, 2004, p. 31). Elle vise avant tout à fournir un critère objectif de classification du vivant qui est le degré d'apparentement entre les espèces. Il est essentiel de préciser d'emblée qu'élaborer un arbre phylogénétique pour un échantillon d'espèces présuppose que l'on se place dans le cadre théorique de l'évolution, qui propose une origine commune pour l'ensemble des êtres vivants et donc une parenté globale. Une classification phylogénétique d'un échantillon d'espèces ne peut donc en aucun cas justifier cette « parenté globale », puisqu'elle repose elle-même sur ce postulat. Elle permet seulement de proposer une « parenté locale », au sein de l'échantillon testé et répond à la question : qui est plus apparenté avec qui ?

5 Son ouvrage *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik* sur la méthode cladistique, publié en allemand en 1950, est considéré comme le fondement théorique de la phylogénie moderne.

Les méthodes de reconstruction phylogénétiques sont complexes et nombreuses, et dépassent le cadre de cet article. Nous en noterons simplement ici les grandes lignes. Les phylogénies peuvent être construites à partir de tout type de caractères (morphologiques ou moléculaires). Toutes les méthodes de reconstruction reposent sur l'idée générale que les ressemblances entre les caractères des êtres vivants constituent le plus souvent des homologies, c'est-à-dire que ces caractères sont issus d'un ancêtre commun qui les a transmis à ses descendants[6]. Elles visent, sous cette hypothèse, à produire l'arbre le plus « vraisemblable », c'est-à-dire l'arbre qui maximise le nombre de ressemblances imputables à des homologies. Dans la méthode la plus simple, présentée aux élèves de lycée, l'arbre le plus vraisemblable est le plus « parcimonieux », c'est-à-dire celui qui minimise le nombre d'innovations évolutives. Cette méthode permet d'identifier des « clades », ou groupes monophylétiques, comprenant tous les descendants issus d'un nœud de l'arbre. Ces clades sont d'autant mieux soutenus par les données qu'ils présentent un grand nombre de caractères exclusifs à leur lignée, appelés synapomorphies, apparus chez l'ancêtre le plus récent du clade, et transmis à tous ses descendants, les espèces actuelles.

Ainsi, l'arbre inféré représente les relations d'apparentement les plus vraisemblables, mais ne peut être tenu pour vrai, puisque le fil historique de la parenté réelle reste et restera inaccessible. Comme le formule G. 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).

Nous sommes bien là dans le mode de validation des sciences historiques, le cohérentisme, et des raisonnements scientifiques associés, notamment le raisonnement abductif.

Nous nous demandons si ces éléments épistémologiques sont mobilisés dans l'enseignement de la phylogénie. Nous portons notre attention dans un premier temps sur les programmes scolaires pour mettre au jour les références épistémologiques qui sont prescrites. Puis dans un second temps, nous développons l'analyse de plusieurs fiches d'activités portant sur la construction d'arbres phylogénétiques de façon à repérer comment les enseignants s'emparent – ou non – de ces références et quelle épistémologie ils mettent en œuvre.

6 La ressemblance globale n'est pas pertinente pour établir une phylogénie. Seuls certains caractères ou attributs précis peuvent être homologues. Pour exemple, les crocodiles sont plus apparentés avec les oiseaux qu'avec les lézards (présence d'un gésier et d'une fenêtre mandibulaire partagées exclusivement par ces deux groupes et non par les lézards).

2. L'épistémologie des SVT dans les programmes

Nous présentons ici les résultats d'une analyse épistémologique des programmes de SVT explicitant le positionnement institutionnel sur les sciences historiques et sur la phylogénie.

2.1. Une quasi-invisibilité de l'épistémologie des sciences historiques

Les instructions officielles actuelles des SVT[7] prescrivent, au-delà des connaissances scientifiques disciplinaires, l'acquisition de connaissances sur la nature des sciences. Mais certains travaux en didactique des sciences tendent à montrer que les programmes scolaires explicitent peu leur dimension épistémologique (Maurines *et al.*, 2013).

L'effort d'explicitation apparaît d'autant plus souhaitable que les représentations sur la nature des sciences, des enseignants, semblent présenter des décalages importants avec l'épistémologie de référence des disciplines concernées (Lederman, 2007 ; Pélissier & Venturini, 2010). Dans ce contexte, nous avons souhaité évaluer la prise en compte, dans les textes officiels pour l'enseignement des SVT de la double spécificité épistémologique – historique et fonctionnaliste – du domaine de l'évolution. Pour cela nous avons analysé les phrases et les expressions portant sur les éléments d'épistémologie suivants : d'une part la nature de l'activité scientifique prescrite, d'autre part les démarches scientifiques, les raisonnements et les modes validation associés. Ces analyses, présentées en détail dans une publication antérieure (Paulin, Charlat & Triquet, 2018) sont brièvement résumées ci-dessous.

Précisons que l'épistémologie des sciences historiques est bien présente dans ces textes et mobilisée à bon escient dans certains énoncés argumentatifs. Cependant d'autres énoncés plus ambigus, voire contradictoires, contribuent comme nous le verrons à brouiller le message.

Mais en premier lieu, nous retenons que c'est par l'entrée dans une démarche d'investigation (DI) que l'élève est supposé s'approprier les bases épistémologiques de la discipline. Cependant, à l'analyse, celle-ci se révèle limitée à une démarche incluant quasi systématiquement une expérimentation, et donc adaptée aux sciences fonctionnalistes[8] et à leurs objets d'études.

L'autre point important est le primat accordé aux données empiriques et à l'observation, point de départ privilégié des démarches prescrites, au détriment des cadres théoriques de référence. Ce point, déjà soulevé par Corinne Fortin qui a étudié l'enseignement

7 Programme du collège (2016) et programme du lycée (2010). Disponible en ligne sur le site eduscol. Pour le cycle 4 : <http://eduscol.education.fr/pid34185/cycle-4.html> ; pour le lycée : <http://eduscol.education.fr/pid26017/programmes-du-lycee.html>.

8 Convoquant raisonnements hypothético-déductifs et validation expérimentale.

de l'évolution sur une période de plus d'un siècle (Fortin, 2011), donne l'impression qu'il pourrait exister des « faits sans théorie » et que la seule observation du « réel » et/ou sa manipulation suffirait pour conduire à la connaissance. Difficile, dans ce contexte de penser l'enseignement des sciences historiques et spécialement celui de la phylogénie qui présuppose le cadre théorique de l'évolution du vivant.

2.2. La phylogénie dans les programmes scolaires

Dans ce contexte, comment l'épistémologie de la phylogénie est-elle présentée dans les programmes ? Le travail réalisé a permis de repérer des énoncés en accord avec les fondements de la phylogénie côtoyant des paragraphes où ils sont mis à mal. C'est d'abord le positionnement du cadre évolutif qui nous interpelle. Une construction d'arbre phylogénétique présuppose l'évolution du vivant. Or, nous avons constaté une absence d'explicitation de ce cadre dans les textes analysés. L'activité phylogénétique n'est donc pas contextualisée. Nous avons également trouvé dans les ressources du programme de collège[9], un énoncé présentant le degré d'apparentement entre les espèces d'un échantillon (la parenté locale) comme un fait étayant la théorie de l'évolution (la parenté globale). Un tel énoncé est en parfaite contradiction avec le cadre épistémologique de la phylogénie puisqu'il confond l'effet avec la cause : l'activité de reconstruction phylogénétique, c'est-à-dire la parenté locale, suppose la parenté globale. Elle ne peut donc la justifier.

L'analyse des programmes sur la parenté soulève aussi un problème de polysémie autour du terme de « parenté ». Il est parfois utilisé dans le sens de « filiation » (sens approprié dans le cadre de la phylogénie) mais parfois également dans le sens de « ressemblances » entre les êtres vivants comme dans cet extrait du programme de seconde : « Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun. ». Ces ambiguïtés sémantiques contribuent à troubler la compréhension de la méthode phylogénétique.

Concernant enfin le mode de validation des arbres phylogénétiques, le principe de parcimonie, qui permet de choisir un arbre parmi plusieurs, n'est pas cité dans les programmes. La conséquence est que le caractère vraisemblable, et non « vrai », de l'arbre phylogénétique, n'est jamais mentionné dans les textes analysés.

En conclusion, l'épistémologie des sciences historiques est présente en filigrane dans les programmes mais elle est parfois « malmenée », notamment sur le thème de la phylogénie. Comment dès lors les enseignants de SVT s'y prennent-il pour construire des séances sur la parenté, et en référence à quelle épistémologie ? C'est ce que se propose d'étudier la partie qui suit, à partir de fiches d'activités construites pour cet enseignement.

9 Ministère de l'Éducation nationale, « Ressources pour la classe de troisième du collège », *Direction générale de l'enseignement scolaire*, septembre 2009. En ligne : <http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Programmes/35/9/SVT_College_Ressources_Programme-commente-troisieme_117359.pdf>.

3. L'enseignement de la phylogénie à l'épreuve de l'épistémologie : étude pratique

La phylogénie est enseignée depuis le cycle 4 (de la classe de cinquième à la classe de troisième) jusqu'à la terminale scientifique. L'activité type proposée est la construction de liens de parenté au sein d'un échantillon d'espèces choisies, sous la forme d'un arbre phylogénétique.

3.1. Méthodologie de l'étude

C'est par l'analyse de plusieurs propositions de cette fiche d'activités que nous avons choisi d'objectiver l'épistémologie mobilisée par les enseignants. Plusieurs didacticiens ont pointé l'intérêt majeur de ces supports d'enseignement pour accéder au travail des enseignants (Tiberghien *et al.*, 2001 ; Mathé, 2010). Elles donnent à voir les partis pris et/ou les implicites épistémologiques des démarches sous-jacentes. Leur médiatisation, sur des sites académiques ou d'établissements scolaires, constitue à nos yeux une forme de validation informelle par l'institution.

Bien que la phylogénie soit enseignée depuis le cycle 4 jusqu'à la terminale, avec des degrés d'exigence progressifs, nous avons restreint le choix des niveaux à ceux de troisième et de seconde. En effet, c'est à ce moment du cursus que la classification des espèces devient réellement phylogénétique. En cinquième et quatrième, des activités de regroupements d'espèces (nommés « groupes emboîtés ») se font sur la base de critères morphologiques, mais sans relation directe avec le cadre évolutif. Cette mise en relation est explicitée en classe de troisième, puis reprise en classe de seconde, où les éléments clés de la phylogénie sont mobilisés. En classe de première (S, ES et L), la phylogénie est abordée très rapidement dans le chapitre sur la vision, qui n'a pas donné lieu à un nombre suffisant de fiches d'activités pour notre étude. Quant à la classe de terminale S, la reconstruction d'un arbre et sa signification sont censées être des acquis. Les fiches d'activités, portant à ce niveau sur les hominidés, sont trop peu détaillées pour notre étude, dans le sens où elles présentent généralement des protocoles de réalisation d'arbres phylogénétiques, sans explicitation des fondements théoriques de l'activité.

3.1.1. Le corpus

Les fiches d'activités récoltées proviennent de 13 sites académiques de SVT et d'un site d'un lycée français au Chili[10]. Tous sont accessibles depuis le site officiel de l'éducation

10 Il existe 30 académies scolaires françaises regroupées en 17 régions académiques. Il existe également 3 vice-rectorats (Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna).

nationale EDUSCOL[11]. Le directeur de publication déclaré (rubrique « mentions légales ») est soit le recteur d'académie, soit plus généralement le ou les inspecteurs académiques en lien avec un groupe d'enseignants[12].

Nous avons relevé sur l'ensemble des sites les fiches d'activités concernant la parenté entre les êtres vivants. On peut légitimement penser que ces fiches correspondent, à quelques modifications près, à celles qui seront fournies aux élèves. Deux d'entre elles explicitent les étapes que les élèves devront suivre pour construire les arbres sans leur être directement destinées. Elles sont d'autant plus révélatrices des raisonnements mis en œuvre par leurs auteurs et entrent de fait dans notre corpus. Au total, nous avons ainsi récolté 20 fiches d'activité sur la parenté, dont 9 pour le niveau de troisième et 11 pour le niveau de seconde[13].

L'ensemble des fiches proposent la réalisation d'un arbre phylogénétique à l'aide du logiciel « Phylogène[14] », dans une démarche que nous pouvons décrire en quatre étapes (qui renvoient à des étapes de la DI) dont le contenu est précisé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2. Fiche « type » d'une activité de recherche de parenté de notre corpus

Phases	Description
Contextualisation	Phrase d'introduction sur la parenté des êtres vivants et/ou présentation de l'échantillon d'espèces à étudier.
Problème	Formulation d'une question sur la parenté dans l'échantillon d'espèces ou/et consignes à suivre pour établir la phylogénie avec le logiciel « Phylogène ».
Protocole de construction d'un arbre phylogénétique	L'activité centrale des élèves est la construction d'un arbre phylogénétique. Une matrice de caractères est remplie et l'arbre est construit. L'élève suit les consignes pas à pas pour utiliser les fonctions du logiciel.
Conclusion	Phase de conclusion, avec des questions portant sur l'arbre établi ou/et des questions d'ordre plus général.

3.1.2. Le traitement des données

Nous voulons repérer si les démarches proposées dans les fiches d'activités mobilisent les bases épistémologiques de la phylogénie (et celles des sciences historiques) et si oui de quelle manière. Nos indicateurs d'analyse sont tirés de l'analyse épistémologique de la phylogénie présentée plus haut. Nous les listons ci-dessous en précisant les questions qui leur sont associées. C'est cet ensemble d'éléments qui va guider notre analyse.

11 <http://eduscol.education.fr/>.

12 Les données exposées sont en accès libre et peuvent être utilisées dans le cadre de cet article, sous réserve d'anonymat des auteurs des fiches.

13 Les fiches retenues sont téléchargeables et imprimables et nous tenons à disposition un dossier les compilant.

14 Le logiciel « Phylogène » est une ressource de l'INRP créé dans les années 2000 par M. Dupuis, D. Lenne, J.-F. Madre, J-F. Rodes et N. Salamé. Il permet de construire des groupes emboités et des arbres phylogénétiques.

Le cadre évolutif : est-il précisé – au moins dans la phase de contextualisation – que l'activité s'inscrit dans le cadre théorique de l'évolution ? Ce cadre est-il mobilisé correctement dans les justifications attendues en phase conclusive ?

L'articulation parenté globale/parenté locale : le problème posé est-il une recherche de parenté locale (au sein de l'échantillon) ou globale ? Les questions de la phase conclusive portent-elles uniquement sur la parenté locale ou est-il demandé de justifier la parenté globale à partir de la parenté locale ?

L'observation des caractères : est-ce que seuls les caractères homologues (outils de la phylogénie) sont utilisés ou est-ce que les ressemblances globales sont également mobilisées ? La parenté est-elle inférée de la seule observation des caractères ou le cadre évolutif est-il convoqué ?

Le principe de parcimonie : peut-il être mis en application ? (dans le sens où plusieurs arbres peuvent être construits avec les données de l'activité)

Le statut de véracité de l'arbre construit : l'arbre retenu est-il présenté comme vraisemblable ou vrai ?

3.2. Des résultats homogènes qui révèlent deux tendances

Les résultats obtenus présentent une grande similarité au regard de nos indicateurs d'analyse, et deux tendances fortes se dégagent. La première concerne les démarches d'enseignement mises en jeu : elles mobilisent très majoritairement des éléments épistémologiques des sciences fonctionnalistes et très peu ceux des sciences historiques. La seconde concerne le statut de véracité des arbres construits : les activités d'enseignement, telles qu'elles sont proposées, conduisent à donner à l'arbre obtenu un statut de vérité. Nous détaillons à présent ces deux tendances.

3.2.1. Une démarche fonctionnaliste en lieu et place d'une démarche historique

La tendance majoritaire repérée dans les fiches d'activité consiste à mobiliser, en lieu et place de l'épistémologie de référence – celle des sciences historiques – des éléments spécifiques de l'épistémologie des sciences fonctionnalistes. Cette pratique concourt à donner un aspect « expérimental » à la construction d'un arbre phylogénétique. C'est par l'analyse conjointe de trois des indicateurs d'analyse que nous pouvons objectiver ce glissement épistémologique : le placement du cadre évolutif, l'articulation parenté globale/parenté locale et la place de l'observation des caractères. Nous discernons trois éléments qui actent cette transformation : l'absence du cadre évolutif, une centration sur les caractères des organismes et un statut d'expérience accordé à la construction de l'arbre phylogénétique. Nous les présentons dans cet ordre :

L'absence du cadre évolutif

Nous observons que 17 fiches sur les 20 analysées ne font aucune mention du cadre évolutif. En d'autres termes, la parenté globale des êtres vivants n'est pas postulée en préalable à la recherche de parenté locale dans la majorité des fiches analysées. Exemple :

> « Des parentés entre groupes : voici quelques exemples de tétrapodes actuels et fossiles ; ils possèdent tous des yeux, une bouche, un squelette interne, une mâchoire, des doigts. » (fiche n°2, phase de contextualisation)

En ce qui concerne les 3 fiches restantes, une seule pose explicitement la parenté globale des êtres vivants comme préalable à la recherche de parenté locale. Les deux autres introduisent l'origine commune ou l'évolution, mais sans évoquer la parenté globale des êtres vivants qui en découle. L'activité de recherche de parenté n'est donc pas contextualisée et s'opère sans le cadre théorique de l'évolution, dans la très grande majorité des fiches de notre corpus.

Une centration sur les caractères des organismes

La place vacante laissée par le cadre évolutif non convoqué est investie par la présentation des caractères ou des ressemblances entre les organismes. Cependant parmi les fiches, 14 (sur 20) vont plus loin et introduisent l'idée que les caractères ou les ressemblances sont susceptibles de justifier à elles seules la parenté comme dans les exemples relevés ici dans certaines phases de contextualisation :

> « Les différentes espèces de vertébrés *présentent des ressemblances* dans leur plan d'organisation qui *justifient* leur appartenance à un même groupe. Ces similitudes suggèrent des relations de parenté entre espèces. » (fiche n°13)

> « *Caractéristiques d'organisation anatomique* permettant de *classer les vertébrés* dans un même groupe. » (fiche n°16)

> « L'extraordinaire *diversité des organismes* a conduit les biologistes à *répartir* dans des groupes les espèces actuelles et/ou fossiles. » […] « Les ressemblances entre les vertébrés montrent qu'ils sont apparentés ». (fiche n°17)

Les fiches de ce type ont en commun de fonder d'emblée l'activité phylogénétique sur les observables, c'est-à-dire les caractères communs entre les organismes, qui vont peu ou prou fonder la « parenté », sans que celle-ci soit par ailleurs qualifiée de locale ou de globale. Cette orientation est encore plus explicite dans les formulations des problèmes posés :

> « Après exploitation des documents ci-dessous, répondre à Anthony en précisant – *si toutefois ils existent* – les liens de parenté entre les 3 taxons. » (fiche n°1)

> « Mettre en relation une matrice de caractères et un arbre d'apparentement afin de *montrer la parenté entre les espèces*. » (fiche n°7)

> « En utilisant le logiciel Phylogène, *démontrer scientifiquement un lien de parenté* entre le compsognathus (dinosaure fossile) et l'un ou plusieurs des vertébrés fossiles. » (fiche n°14)

> « À l'aide d'un logiciel et d'observations anatomiques, trouver les similitudes anatomiques entre

les différentes espèces de vertébrés actuels et fossiles *permettant de valider l'hypothèse de leur origine commune.* » (fiche n°12)

Ces formulations, représentatives du corpus, sous-entendent que l'observation des caractères ou des similitudes permet de « valider » ou « montrer » et même « démontrer » directement la parenté locale (fiches 1 et 14), voire même globale (fiche 7 et 12) en s'affranchissant du cadre évolutif. La formulation de la fiche n°1 est explicite, puisqu'elle met en doute les liens de parenté avant la construction de l'arbre, alors que celle-ci prend sens uniquement dans le cadre évolutif. Nous sommes là dans un raisonnement tautologique.

Les questions formulées dans les phases de conclusion ci-dessous confirment selon nous la confusion repérée entre parenté globale et parenté locale, car elles demandent de retrouver la parenté globale à partir de l'arbre construit dans un groupe d'espèces, donc exprimant une parenté locale.

« Que pouvez-v*ous déduire du partage d'attributs* entre les vertébrés actuels et fossiles ? » (fiche n°2).

« *Montrez* qu'il existe une parenté entre ces cinq espèces ? » (fiche n°3)

« Expliquez comment *l'arbre traduit la notion d'évolution et d'origine commune* des êtres vivants. » (fiche n°17)

L'ensemble de ces formulations soulève différents points de discussion. Globalement elles montrent une inversion de hiérarchisation entre la parenté globale et la parenté locale puisqu'il est souvent demandé de valider la parenté entre toutes les espèces (parenté globale) à partir de la construction d'un arbre phylogénétique qui ne peut proposer qu'une parenté locale. Remarquons que les arguments attendus s'appuient sur l'observation des caractères qui serait à elle seule censée valider la parenté entre les organismes étudiés.

Rappelons que la parenté, qu'elle soit locale ou globale, ne s'observe pas, mais qu'elle se pense dans le cadre théorique de l'évolution. Les caractères peuvent s'observer mais s'ils ne sont pas investis d'une portée historique et généalogique (et donc qualifiés d'homologues), ils n'ont aucune valeur argumentative. À ce stade la question est donc : comment les enseignants justifient-ils – malgré tout – la parenté, à partir de l'observation des caractères dans les activités qu'ils proposent ?

La construction d'un arbre : une activité au statut d'expérience

C'est là que le statut accordé à la construction d'un arbre phylogénétique intervient. Ce statut est perceptible en arrière-plan des questions répertoriées ci-dessus. La construction de l'arbre et donc la manipulation des caractères (avec un logiciel) semble « montrer », « démontrer » la parenté (locale ou globale). Cette manipulation prend ici valeur d'expérience de laboratoire[15] dont les résultats (l'arbre phylogénétique construit) permettent de valider ou non, de façon définitive, l'hypothèse de parenté. Comme précisé plus haut, il est pourtant clair que la construction d'un arbre phylogénétique n'a pas valeur d'expérience

15 Avec un protocole de construction avec un logiciel qui s'apparente à un protocole expérimental.

démonstrative. Elle s'inscrit dans un cadre théorique conséquent (l'évolution du vivant) et permet seulement, en suivant une méthodologie rigoureuse, de proposer les parentés les plus vraisemblables au regard des données traitées. Mais elle n'autorise en aucun cas la validation de la parenté globale, et encore moins de l'origine commune du vivant.

Pour résumer la tendance forte relevée dans les fiches analysées, nous dirons que l'activité de recherche de parenté locale (dans un échantillon d'espèces), censée s'inscrire dans le cadre théorique de l'évolution et dans l'épistémologie des sciences historiques, est transformée dans les fiches de notre corpus en une démarche fonctionnaliste. L'activité est centrée sur les objets observables et isolables en laboratoire (les caractères) et ménage un pseudo-moment d'expérimentation (protocole de construction de l'arbre avec le logiciel).

Cette trame pédagogique (observation des caractères, manipulation avec « Phylogène », résultat sous forme d'un seul arbre, conclusion) n'est pas sans rappeler les étapes de la démarche expérimentale telle qu'elle a été résumée (et critiquée) par Astolfi sous le sigle OHERIC[16] canevas dominant dans les années quatre-vingt dans l'enseignement des SVT (Astolfi, 1978). Depuis, la DI a tenté d'ouvrir le champ des démarches d'enseignement, bien que le tropisme vers l'expérimental reste vif (Triquet, Gandi & Guilaud, 2012 ; Darley, 2007 ; Mathé, Meheut & de Hosson, 2008). Notre analyse confirme cette tendance en montrant comment un problème de type historique est en définitive enseigné selon un canevas fonctionnaliste, au prix d'une recomposition épistémologique qui permet de s'abstraire d'un cadre théorique et d'un mode de validation autre qu'expérimental.

3.2.2. Un arbre « vrai » et non pas vraisemblable

Dans cette approche expérimentale, que devient le statut de véracité de l'arbre phylogénétique ?

Les deux derniers indicateurs d'analyse (la possibilité ou non de construire plusieurs arbres, et l'utilisation possible ou non du principe de parcimonie) nous apportent une réponse unanime : aucune activité ne permet de construire des arbres différents (bien que cohérents méthodologiquement), et donc le principe de parcimonie n'est jamais mobilisé. Le résultat des activités étudiées est systématiquement un arbre unique, (calibré d'avance par le choix des échantillons fait par l'enseignant) non qualifié quant à son statut de véracité. Cet arbre apparaît implicitement « vrai » pour des élèves non informés, puisqu'il est le seul arbre possible.

Si, de prime abord, nous pouvons être surpris par ce résultat, (les enseignants connaissent le statut des arbres phylogénétiques qui est une connaissance de base de la phylogénie), le choix de construire un seul arbre peut cependant apparaître, dans une certaine mesure, cohérent. Dans l'hypothèse où la construction de l'arbre a valeur d'expérimentation, devant conduire à « montrer » (fiche n°3) ou « démontrer » (fiche n°14) la parenté, un seul « résultat » et donc un seul arbre, doit être possible. Tout choix à effectuer entre plusieurs arbres fragi-

16 Observation, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion.

liserait le motif expérimental mis en place. Cet impératif est encore plus fort quand l'arbre construit est utilisé pour « démontrer la parenté globale » ou même « l'origine commune » (fiche n°12).

Dès lors quelles sont les conséquences en termes d'apprentissage pour les élèves ? Un travail exploratoire que nous avions conduit en 2010 montrait une tendance forte d'un panel d'élèves de terminale S à accorder un statut de « preuve de l'évolution » aux arbres phylogénétiques qu'ils construisaient (Paulin & Guinet, 2010). La présente analyse apporte peut-être des éléments d'explication à cette prise de position des élèves qui se révèle un contresens épistémologique. Elle peut sembler en cohérence avec la démarche d'enseignement « pseudo-expérimentale » qu'ils ont suivie pour produire un arbre qui leur apparaît certain et auquel ils font dire bien plus qu'il ne peut exprimer.

Conclusion

Nous avons souhaité ici préciser les statuts épistémologiques des sciences historiques et fonctionnalistes, et leurs places respectives dans l'enseignement des SVT. Ayant mis en évidence, dans une précédente étude (Paulin, Charlat & Triquet, 2018), une absence notoire de référence à l'épistémologie des sciences historiques dans les textes officiels, nous avons analysé les fiches d'activité préparées par des enseignants eux-mêmes pour aborder la question de la parenté entre les êtres vivants. Nous l'avons appréhendée au travers de l'activité de reconstruction d'arbres phylogénétiques, laquelle s'inscrit pleinement dans le cadre des sciences historiques.

Notre recherche a permis de mettre en évidence une tendance à occulter le contexte théorique dans lequel s'inscrit la reconstruction d'arbres phylogénétiques, à savoir le contexte de la biologie évolutive. Il s'accompagne d'une centration sur les observables de l'activité, c'est-à-dire les caractères des individus.

Ce décalage par rapport à l'épistémologie de référence de la phylogénie s'inscrit, nous semble-t-il, dans une longue tradition pédagogique française. Celle-ci débute avec la réforme de l'enseignement des sciences de 1902 qui présente une vision positiviste de la science, donnant la primauté aux faits, parfois déconnectés des cadres théoriques qui sous-tendent leur observation et leur interprétation. La méthode pédagogique prônée pour l'enseignement des sciences est ici qualifiée « d'inductive ». Mise en place par les inspecteurs de l'éducation nationale de l'époque, elle a perduré, selon Pierre Kahn, jusque dans les années soixante-dix, pour être remplacée par la méthode hypothético-déductive. Mais ce changement ne s'est pas accompagné d'une remise en question de la place et de la nature de l'observation dans l'activité scientifique, qui reste dans les textes programmatiques actuels toujours aussi prégnante, et surtout première dans les démarches d'enseignement (Kahn, 2002).

En demandant aux élèves de retrouver l'origine commune du vivant à partir de l'observation des caractères, les enseignants de notre panel semblent s'inscrire dans cette

démarche. C. Fortin (2011) décrit et discute des limites d'un tel positionnement pédagogique, notamment dans l'enseignement de l'évolution, et nous en avons ici pointé certains écueils. Mais comment comprendre la persistance de cette posture dans l'enseignement depuis plus d'un siècle ? Ceci peut paraître curieux à une époque où l'idée qu'il n'existe pas de faits sans contexte théorique fait consensus.

Selon nous, ce paradoxe est à rapprocher d'un autre résultat saillant de notre analyse : une tendance à calquer une démarche expérimentale sur des objets des sciences historiques, qui ne s'y prêtent pourtant pas. Ces deux résultats convergent pour suggérer une difficulté à penser et à enseigner l'incertitude, intrinsèque à tout « savoir » scientifique. Il nous paraît important de rappeler ici que les sciences de la matière, qu'elles s'apparentent aux sciences historiques ou fonctionnalistes, ne « découvrent » pas des « vérités » sur le monde, mais élaborent des modèles, pour rendre compte d'observations. Sans minimiser la puissance de cette approche, nous devons garder à l'esprit que ces modèles, aussi efficaces et complets soient-ils, ne peuvent tenir lieu de vérité : d'autres modèles pourraient être compatibles avec les observations ; d'autres observations pourraient venir contredire, au moins partiellement, les modèles existants, forçant la science à élaborer d'autres modèles, comme elle a su le faire à de multiples reprises au cours de son histoire.

Dans le cadre des sciences historiques, l'incertitude est palpable : on ne peut évidemment pas être certain des causes de l'extinction (partielle) des dinosaures. Ainsi, expliciter l'épistémologie des sciences historiques imposerait à l'enseignant d'aborder de front la question de l'incertitude. Mais craint-on, par exemple, que les élèves basculent du côté du relativisme si l'on introduit ce pan incontournable de l'épistémologie scientifique ? Dès lors, la prédominance de l'approche expérimentale est-elle pensée comme un moyen d'éviter de l'aborder ? Proposer des démarches ayant un vernis expérimental et déductif pourrait en effet apparaître comme un moyen d'éviter d'entrer dans la complexité du « rapport au vrai » dans les sciences de la vie et de la Terre. Mais cette stratégie révèle peut-être une confiance excessive dans l'approche expérimentale, qui comporte pourtant elle aussi une part d'incertitude, comme discutée plus haut. Pourquoi ne pas assumer pleinement cette part de la science et la discuter en classe ? Reconnaissons que cela est complexe. Popper lui-même a opéré un revirement spectaculaire au sujet de la théorie de l'évolution – à laquelle il ne reconnaît au départ aucun caractère de scientificité – dans un article de la revue *Dialectica* publié en 1978. Sa rétraction tardive illustre parfaitement les difficultés rencontrées à penser les sciences historiques en dehors d'un cadre fonctionnaliste (Triquet & Paulin, 2017).

Pourtant, comme le dit B. Bensaude Vincent, « L'incertitude n'est pas le doute, ou du moins l'incertain n'est pas le douteux ! »[17]. Douter d'un résultat scientifique (et peut-être de la science elle-même) n'est pas la même chose que réfléchir et user de son esprit critique pour déterminer le degré de vraisemblance d'une connaissance scientifique, qui peut-être

17 Conférence des deuxièmes journées d'épistémologie, juin 2013, Montpellier. En ligne : <https://video.umontpellier.fr/2eme-journee-epistemologie-bernadette-bensaude-vincent/>(consulté le 17 septembre 2017).

par ailleurs élevé. C'est au contraire une démarche heuristique et formatrice qui devrait être mobilisée largement dans l'enseignement des sciences. Selon nous, l'enseignement de l'évolution, et plus généralement de toutes sciences ayant trait à des approches historiques, constitue une occasion, un levier, pour aborder d'une manière générale la question de l'incertitude en science. Loin de diminuer l'intérêt des élèves pour les sciences de la matière, ce positionnement plus modeste pourrait au contraire contribuer à le raviver. Qui plus est, à un moment où l'institution scolaire souhaite développer l'esprit critique des élèves, et leur apprendre à apprécier le degré de vraisemblance du flux croissant d'informations qu'ils reçoivent, il nous semble opportun et important de renforcer le contenu épistémologique de la formation des enseignants. Ils seraient alors en mesure de tenir la barre entre deux écueils, celui d'un scientisme dépassé et celui d'un relativisme stérile.

Fabienne Paulin
fab.paulin@wanadoo.fr

Sylvain Charlat
sylvain.charlat@gmail.com

Éric Triquet
eric.triquet@univ-avignon.fr

Bibliographie

ASTOLFI J.-P. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* Paris : Presses universitaires de France.

BARBEROUSSE A. (2005). Systématique phylogénétique et sens de l'histoire. *Biosystema*, n° 24, p. 75-82.

DARLEY B. (2007). La démarche d'investigation et son vocabulaire. *Grand N, no 7*9, p. 99-111.

DELSOL M. (1985). *Cause, loi, hasard en biologie.* Paris/Lyon : J. Vrin/Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques.

FITZHUGH K. (2005). Les bases philosophiques de l'inférence phylogénétique : une vue d'ensemble. *Biosystema*, n° 24, p. 83-106.

FORTIN C. (2011). L'enseignement de la théorie de l'évolution dans le secondaire : quelques enjeux didactiques. In T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Silberstein, *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution.* Paris : Éditions Matériologiques, p. 71-88.

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/article32.html> (consulté le 20 septembre 2017).

GAYON J. (2002). Préface à « Exobiologie, aspects historiques et épistémologiques ». *Cahiers François Viète*, série 1, n° 4, p. 5-7.

GOHAU G. (2012). Des sciences palétiologiques (Whewell) aux archives de la nature. *Travaux du comité français d'histoire de la géologie*, 3e série, t. 26, n° 3, p. 55-65.

HUME D. (1986/1748). *Enquête sur l'entendement humain*. Paris : Garnier/Flammarion.

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.* Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion, p. 85-106.

KORICHE F. & SALLANTIN J. (2006/1999). Abduction. In D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* Paris : Presses universitaires de France, p. 1-4 [4e éd.].

LECOINTRE G. (2004). Le statut de la parcimonie. *Biosystema*, n° 24, p. 7-14.

LECOINTRE G. (dir.) (2009). *Guide critique de l'évolution*. Paris : Belin.

LECOINTRE G. (2011), Récit de l'histoire de la vie ou De l'utilisation du récit. In T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre & M. Sylberstein (dir.), *Les Mondes Darwiniens – L'évolution de l'évolution,* Paris : Editions Matériologiques, p. 601-632.

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, p. 831-879.

L'HÉRITIER P. & TEISSIER G. (1934). Une expérience de sélection naturelle, courbe d'élimination du gène *Bar* dans une population de Drosophila Melanogaster, *Comptes rendus des séances de la société de biologie*, n° 117, p. 1049-1051.

MALDERIEUX S. (2010). Le pragmatisme et les variétés de l'expérience. In L. Perreau & B. Ambroise (dir.), *L'expérience*. Paris : Vrin, p. 111-131.

MATHÉ 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, Paris : université Paris-Diderot-Paris 7.

MATHÉ S. & MÉHEUT M. & HOSSON C. (de) (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux. *Didaskalia*, n° 32, p. 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. *Recherches en didactique des sciences et des technologies* (*RDST),* n° 7. En ligne : <https://journals.openedition.org/rdst/674> (consulté le 20 septembre 2017).

MEN (Ministère de l'Éducation nationale) (2010). Programme de sciences de la vie et de la Terre en classe de seconde et technologique. *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale,* spécial n°4, 29 avril 2010. En ligne : http://www.education.gouv.fr/cid51319/mene1007274a.html (consulté le 22 septembre 2017).

MEN (Ministère de l'Éducation nationale) (2015). Programme pour les cycles 2, 3, 4. *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale,* spécial, n° 11, 26 novembre 2015, p. 183-196, p. 339-351. En ligne : <http://www.education.gouv.fr/cid95812/au-bo-special-du-26-novembre-2015-programmes-d-enseignement-de-l-ecole-elementaire-et-du-college.html> (consulté le 22 septembre 2017).

ORANGE RAVACHOL D. (2012). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre : entre phénomènes et événements*. Rennes : Presses universitaires de Rennes.

PADIAN K. (2004). *De Darwin aux dinosaures : essai sur l'idée d'évolution*. Paris : Odile Jacob.

PAULIN F. (2015). *L'épistémologie contemporaine de la théorie de l'évolution dans le secondaire français : état des lieux et conséquences didactiques*. Thèse de doctorat, Lyon : université Lyon 1.

PAULIN F. & GUINET D. (2010). L'enseignement du « concept » de parenté au regard de la démarche expérimentale. In *Actes du congrès de l'AREF.* Genève : université de Genève. En ligne : <https://plone.unige.ch/aref2010/communications-orales/premiers-auteurs-en-p/Lenseignement.pdf/view>(consulté le 20 septembre 2017).

PAULIN F., CHARLAT S. & TRIQUET E. (2018). Les sciences historiques : un impensé épistémologique dans l'enseignement de l'évolution. *Recherche en éducation*, n° 32.

PEIRCE C. S (1995/1898). *Le raisonnement et la logique des choses*. Paris : Éditions du Cerf.

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> (consulté le 20 septembre 2017).

PIGLIUCCI M. (2013). The Nature of evolutionnary Biology: At the borderlands between historical and Experimental Science. In K. Kampourakis (dir.), *The philosophy of biology: a companion for*

educators, New York : Springer, p. 87-100.

POPPER K. (1978). Natural Selection and the Emergence of Mind. *Dialectica*, vol. 32, n° 3-4, p. 339-365.

TIBERGIEN A., VEILLARD L., LE MARECHAL J.-F., BUTY C. & MILLAR R. (2001). An analysis of labwork tasks used in sciences teaching at upper secondary scool and university levels in several European countries. *Science Education*, vol. 85, n° 5, p. 483-508.

TIERCELIN C. (2006). Induction. In D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* Paris : Presses universitaires de France, p. 596-601 [4e éd.].

TRIQUET É., GANDI M. & GUILAUD 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. Calmettes, *Démarches d'investigation* : *références, représentations, pratiques et formation*, Paris : L'Harmattan, p. 101-125.

TRIQUET É. & PAULIN F. (2017). En quoi la théorie synthétique de l'évolution est-elle une théorie scientifique ? *Biologie géologie APBG*, n° 1, 2017, p. 131-140.

VERNANT D. (2006). Déduction. In D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris : Presses universitaires de France, p. 339-342 [4e éd.].