

Phylogène et l'enseignement de l'évolution dans le secondaire

Jean-Claude Hervé, ex IA-IPR de Versailles. 15 novembre 2008

Texte au format .pdf

Phylogène est un logiciel qui a été conçu et expérimenté durant les années 90, à une période où l'étude des phylogénies apparaissait dans les programmes de second cycle sans être très clairement formalisée. Il était donc opérationnel quand le programme actuel de terminale, appliqué pour la première fois en septembre 2002, a explicitement introduit les principes d'établissement des phylogénies. Initialement, Phylogène a donc été conçu pour le lycée.

La refonte des programmes du collège dont le point sans doute le plus notable est l'étude d'une classification qui traduit l'histoire de la vie dès la classe de sixième et qui sert de support à l'étude de l'évolution en troisième, a conduit à une adaptation du logiciel. Cette adaptation à l'enseignement au collège s'est traduite dans un premier temps par l'introduction d'une fonction permettant de faire une classification sous forme de groupes emboîtés et des collections adaptées. Durant cette année 2008, le logiciel a subi d'autres changements importants afin de l'adapter spécifiquement aux objectifs du collège d'une part, du lycée d'autre part.

Phylogène et l'enseignement de la classification en sixième (et cinquième, quatrième)

- 1- Le programme actuel de sixième en ce qui concerne l'enseignement de la classification est en rupture avec tout ce qui s'est fait auparavant dans la mesure où il préconise une présentation de la classification sous forme de groupes emboîtés qui traduit l'histoire de la vie. La possibilité de classer le monde vivant sous forme de groupes emboîtés est fondamentale car c'est cette structure qui trouve son explication dans le cadre de l'évolution : « l'objectif essentiel de la classification au collège est de sensibiliser à l'idée d'évolution qui sera développée ultérieurement (en troisième) » (document d'accompagnement.). Phylogène est un logiciel permettant d'obtenir des classifications du vivant sous forme de groupes emboîtés et surtout d'en comprendre la signification.
- 2- **Le choix des caractères** à prendre en compte pour construire cette classification est évidemment essentiel. Le document d'accompagnement pose bien le problème : l'objectif est de réaliser des groupes emboîtés d'êtres vivants selon une classification phylogénétique à un moment où les élèves ne disposent pas d'une connaissance de la théorie de l'évolution. Pour un systématicien les seuls attributs des organismes à utiliser sont les **états dérivés des caractères** dans le groupe à classer, ce qui implique d'avoir au préalable le concept d'évolution ! C'est la démarche utilisée **au lycée** en terminale pour établir les relations de parenté au sein d'un groupe. Ce n'est évidemment pas possible au collège où l'enseignement de la classification précède celui de l'évolution. Pour résoudre ce problème de faire une classification phylogénétique sans référence à l'évolution, le programme recommande de considérer les attributs (poils, plumes, mamelles etc.) que possèdent les organismes, tels que définis par les scientifiques. Pour classer, un attribut doit être « **ce qu'un organisme a** » et non ce qu'il fait, et d'autre part on ne réunit pas les organismes dans un groupe à partir de ce qu'ils n'ont pas. Sans que cela soit apparent, les attributs pris en compte en sixième correspondent aux états dérivés des caractères qu'utilisent les systématiciens. Pour que **les consignes sur les attributs** débouchent sur une classification phylogénétique, il faut éviter, au moins dans un premier temps, tous les cas embêtants (par exemple ceux où l'absence d'un caractère correspond à un état dérivé : l'absence de membres chez les serpents par exemple) ce

qui implique de contraindre les collections d'organismes à classer et les attributs à considérer. Les **collections de Phylogène utilisables au collège répondent à ces critères** (par exemple l'attribut : « branchies » n'est pas pris en compte dans la collection sur les vertébrés car sa possession est un état ancestral du caractère appareil respiratoire et il n'est donc pas utilisé pour classer).

3- Deux stratégies possibles avec phylogène : pour que les élèves arrivent à comprendre les informations contenues dans une classification sous forme de groupes emboîtés, deux grandes stratégies peuvent être utilisées avec Phylogène :

- **amener les élèves à réaliser la classification d'un groupe d'organismes sous cette forme à partir de l'observation de leurs attributs** : cela implique dans un premier temps d'utiliser les fonctionnalités : « Observer », éventuellement « Comparer » et « Construire » pour obtenir un tableau de caractères ; ensuite, la fonctionnalité « Classer » avec ses différentes composantes (visualiser la matrice avec coloration en jaune des attributs présents chez les taxons, possibilité d'ordonner les colonnes et les lignes de la matrice, visualiser les boîtes correspondant aux colonnes de la matrice, les emboîter) permet **d'aboutir pas à pas** aux groupements emboîtés en ayant compris le sens des activités à réaliser.

- **partir d'un tableau d'attributs des organismes d'une collection et de sa traduction sous forme de groupements emboîtés** ce que permet d'obtenir automatiquement la fonctionnalité « Classer » du logiciel à partir des attributs de la matrice (possibilité d'impression). La compréhension de la classification peut être testée à partir de questions (indiquer les attributs possédés par une espèce, indiquer avec quelle(s) autres espèce(s), une espèce donnée partage le plus d'attributs, etc.). **Surtout**, on peut demander de :

- de situer un nouveau taxon dans cette classification ; cela implique d'utiliser la fonction « observer » du logiciel pour découvrir les attributs du nouveau taxon et par suite, le localiser à sa place correcte ; le logiciel peut être utilisé pour vérifier la place assignée ;

- de modifier la classification en prenant en compte un nouvel attribut ; cela est pertinent dans la mesure où ce nouvel attribut permet de préciser la classification en conduisant à créer une nouvelle boîte à un endroit bien précis

- de situer un nouveau taxon et un nouvel attribut (qui lui est propre) ce qui conduit à modifier la classification en créant une boîte à un emplacement adéquat pour le taxon.

4- Aboutir à une classification sous forme de groupes emboîtés

a) Sélectionner les taxons et les attributs d'une collection

Les collections du logiciel comprennent relativement un assez grand nombre de taxons et prennent aussi en compte de nombreux attributs. Pour une première approche, il est souhaitable de faire **une sélection des taxons** et surtout des **attributs d'une collection** de façon à aboutir à une classification qui ne comprenne qu'un petit nombre de boîtes. Le mieux est peut-être de créer au préalable une configuration qui réponde à ces critères, à partir de la collection initiale, et de l'enregistrer.

b) Sensibiliser les élèves à la nature des attributs à retenir

On peut certes gommer toute discussion sur les attributs à considérer pour classer et demander d'appliquer la consigne : on regroupe uniquement les taxons sur les attributs qu'ils possèdent, retenus par le logiciel. Toutefois, il est bon de sensibiliser à l'idée que regrouper à partir de ce que les espèces font (voler, nager, etc.) ou de leur milieu de vie peut conduire à mettre dans un même groupe des organismes par ailleurs très différents (un extrait de la collection « jardin » ou « étang » comportant quelques insectes et oiseaux permet de dégager simplement cette idée : voler grâce à des ailes est-ce un bon critère pour classer ?). Les fonctions « Observer » et « Comparer » qui permettent pour la première d'obtenir des renseignements biologiques sur les espèces et pour la seconde de visualiser des structures très différentes permettant de réaliser une même fonction, peuvent être utilisées à cet effet. De même, on peut sensibiliser à l'idée que réunir les espèces à partir d'attributs qu'elles ne possèdent pas n'est pas pertinent.

c) Passer du tableau d'attributs à la représentation sous forme de groupes emboîtés

Grâce à la fonctionnalité « Construire », les élèves peuvent remplir un tableau de caractères, plus exactement d'attributs (la présence correspondant toujours à l'état dérivé d'un caractère) et vérifier son exactitude. Après vérification, la fonctionnalité « Classer » permet en premier lieu de visualiser le tableau sous forme d'une matrice où les attributs présents chez les divers taxons sont repérés car colorés. La difficulté est de conduire, de façon raisonnée, les élèves à une représentation sous forme de groupes emboîtés à partir de cette matrice. Pour cela il faut d'abord réfléchir sur la matrice afin d'aboutir à l'idée qu'elle pourrait être rendue plus lisible en ordonnant les attributs (des plus représentés aux moins partagés) et les taxons (rapprocher ceux qui ont le plus d'attributs en commun). Cela peut être fait grâce à la fonctionnalité qui permet de déplacer les colonnes et les lignes. La coloration des attributs possédés par les taxons facilite cette activité.

Un travail de lecture de la matrice ainsi ordonnée est souhaitable : à quoi correspond une colonne ? Quels sont les taxons qu'il faudrait mettre ensemble ? Si les élèves éprouvent des difficultés, on peut passer immédiatement à la fonctionnalité qui permet de **visualiser les boîtes** correspondant aux colonnes. Des boîtes juxtaposées apparaissent : on visualise ainsi la correspondance entre les boîtes et les colonnes du tableau : chaque boîte contient les taxons chez qui l'attribut est présent. En considérant les deux premières boîtes les plus inclusives, il faut alors imaginer une traduction graphique qui traduise le fait que beaucoup des taxons de la deuxième boîte, **mais pas tous**, sont aussi présents dans la boîte la plus inclusive. Si les élèves n'arrivent pas à imaginer l'emboîtement, on peut directement utiliser la fonctionnalité « **Emboîter les boîtes** » pour les conduire à réaliser l'emboîtement des deux premières boîtes. Le travail d'emboîtement se poursuit de proche en proche. Ce faisant, on peut trouver le cas de boîtes contenant exactement les mêmes taxons : il faut alors faire fusionner ces boîtes. L'exactitude de l'emplacement des nouvelles boîtes permet de détecter si les élèves ont bien saisi le sens des groupements emboîtés.

5- Les collections

Elles sont suffisamment nombreuses pour permettre des choix et des stratégies pédagogiques diverses. Les collections les plus appropriées à la classe de sixième sont : Faune Jardin-étang, Vertébrés 6ème, Unité du vivant 6ème et Arthropodes. Comme précédemment indiqué, il est sans doute bon de réaliser une sélection des taxons et des caractères des collections dans la phase d'apprentissage. Aucune collection n'a été conçue en fonction d'un objectif unique. Néanmoins, il est possible de les exploiter de façon complémentaire.

Les collections « Jardin-étang » peuvent être utilisées en premier car centrées sur la **diversité des êtres vivants** dans deux milieux. Dans ce cas, c'est à partir d'elles qu'on approche la classification sous forme de groupes emboîtés. On peut faire une sélection des taxons et surtout des attributs de façon à aboutir à une grande boîte, **celle des animaux** (en réalité celle des animaux bilatériens, possédant bouche et anus) contenant les boîtes des **vertébrés**, des **arthropodes** et des **mollusques gastéropodes** ; grâce à l'attribut membres avec des doigts, on peut avoir placé une boîte supplémentaire incluse dans celle des vertébrés. C'est avec des configurations aussi simplifiées qu'on peut amener les élèves à réaliser les opérations précédemment décrites. En traitant séparément les collections Jardin et Etang, on constate qu'on aboutit à des classifications proches, avec les mêmes groupes. On peut alors conduire les élèves à réaliser une classification unique, regroupant les informations issues des deux classifications ce qui confirme le fait que les critères du milieu de vie ne sont pas pertinents pour classer.

Un objectif essentiel est de montrer que cette possibilité de classement sous forme de groupes emboîtés se retrouve à **toutes les échelles de diversité du vivant**. Ainsi une sous collection des **Arthropodes du sol** peut être utilisée pour visualiser qu'au sein des arthropodes on peut aussi construire un système de groupements emboîtés. De même l'utilisation de la collection des **vertébrés** de sixième est très souhaitable pour découvrir l'emboîtement des groupes de vertébrés. C'est une collection pivot car c'est elle qui servira de support pour introduire l'interprétation évolutive de la classification en troisième. Elle est un excellent support pour un réinvestissement de la méthodologie de construction de la classification en réalisant les emboîtements successifs pas

à pas.

Inversement la collection « **Unité du vivant sixième** » outre qu'elle focalise sur la structure cellulaire en tant qu'attribut commun à tous les êtres vivants, révèle à grande échelle, la même structuration en groupes emboîtés et permet d'individualiser la lignée verte celle des végétaux.

6- Donner un nom aux boîtes

La dénomination des groupes et encore plus la mémorisation des noms ne sont pas considérés comme nécessaires en classe de sixième. Cela se comprend dans la mesure où on veut insister sur le fait qu'un groupe est défini par les attributs spécifiques que possèdent tous les représentants de ce groupe. D'autre part les noms des groupes sont souvent barbares et leur mémorisation bien problématique.

Cependant c'est dans une certaine mesure une erreur. On peut considérer que c'est une dernière étape importante du travail de classification. Les élèves doivent saisir que la classification obtenue à partir de l'analyse du petit échantillon d'espèces de leur collection **a une portée beaucoup plus générale**. C'est tout l'intérêt des exercices visant à situer un nouvel organisme dans une classification préalablement établie. Le nom de la boîte devient un **concept** défini par les attributs de la boîte et de celles dans lesquelles elle est incluse. En sixième, la signification évolutive du concept n'est pas abordée. Elle est envisagée en troisième et c'est l'interprétation des **ensembles emboîtés** et non des espèces citées dans les boîtes qui est pertinente.

Donner un nom à un groupe, non pour le plaisir de le donner, mais pour préparer à l'interprétation évolutive de la classification, est une activité qui peut être formatrice. La fonctionnalité « Rechercher » le permet notamment pour quelques groupes de la collection **Vertébrés 6^{ème}**. Les noms des groupes sont accompagnés d'un relevé de leurs attributs de sorte qu'un élève peut donner un nom à la plupart des ensembles emboîtés de sa classification.

On peut penser aussi que la mémorisation de quelques noms de groupes et de leurs emboîtements peut être structurante (par exemple les **mammifères** sont des **vertébrés tétrapodes** qui ont tous des poils et des mamelles).

Phylogène et l'enseignement de l'évolution en troisième

1- L'esprit du programme de troisième

Dans le chapeau introductif à la partie sur l'évolution des organismes vivants, on cite comme objectif « de montrer que la classification scientifique actuelle se fonde sur la théorie de l'évolution ». C'est une phrase un peu ambiguë, dans la mesure où elle peut laisser penser qu'il faut d'abord introduire le concept d'évolution pour montrer ensuite que la classification reflète l'histoire de la vie. En réalité, en troisième, la classification est **un point de départ** et c'est son interprétation qui sert de support à **l'introduction du concept d'évolution**.

Ce faisant, on suit une **démarche historique**. Ainsi, dans « **L'origine des espèces** », Darwin indique « Le lien que nous révèlent partiellement nos classifications n'est autre que la communauté de descendance, la seule cause connue de la similitude des êtres organisés (...) les caractères regardés par les naturalistes comme indiquant les véritables affinités des espèces entre elles sont ceux hérités **d'un ancêtre commun**, toute véritable classification étant généalogique (au sens phylogénétique) ». Ainsi Darwin utilise les classifications de son époque pour en faire **un argument en faveur de l'évolution** c'est-à-dire de la descendance avec modifications : c'est ce que demande le programme de troisième. Mais il est aussi conscient que les classifications de son époque ne sont pas strictement phylogénétiques, comme l'indique l'utilisation de l'adverbe « partiellement » et la définition du critère d'une véritable classification. Le programme de troisième

permet **éventuellement** d'aborder ce point **après l'explicitation du concept d'évolution** si on envisage les raisons qui font que des groupes comme ceux des poissons et des reptiles ne sont plus reconnus dans la classification actuelle.

Phylogène est un outil qui permet de **partir** d'une classification sous forme de groupes emboîtés et qui possède des fonctionnalités qui conduisent à son interprétation dans une perspective évolutive, c'est-à-dire à sa conversion en un arbre phylogénétique. Dans le programme, il est indiqué que la construction d'un arbre d'évolution est exclue. Avec **Phylogène**, **l'élève ne va pas construire un arbre** comme le permet la fonctionnalité « Arbre » du lycée. Il va seulement, grâce aux fonctionnalités du logiciel, traduire graphiquement la classification, en se basant sur l'interprétation évolutive suivante : tous les attributs que possèdent en commun les membres d'un groupe, ils l'ont hérité d'un ancêtre commun. Lors d'un cycle de conférences organisé par la société géologique de France sur l'évolution, Armand de Ricqlès remarquait que, dans l'enseignement, l'évolution était souvent présentée de façon implicite et que cela était une erreur. **Phylogène**, en mettant l'accent sur la descendance avec modifications permet de l'approcher de façon **explicite**. Et pour cela la collection sur les vertébrés, puis celle des primates, sont dans un premier temps les plus appropriées.

2- Introduire très tôt le concept de « descendance avec modifications » c'est-à-dire d'évolution

Le programme de troisième suggère comme activité la comparaison du plan d'organisation des vertébrés et plus particulièrement celle des membres des vertébrés tétrapodes. C'est aussi un des supports auxquels **Darwin** a eu recours : « N'est-il pas remarquable que la main de l'homme, la patte de la taupe, la jambe du cheval, la nageoire du marsouin et l'aile de la chauve-souris, soient toutes construites sur un même modèle et renferment des os semblables, situés dans les mêmes positions relatives ? (...). Dans l'hypothèse de la création indépendante de chaque espèce, nous ne pouvons que constater ce fait (...). Si nous supposons qu'un ancêtre reculé de tous les mammifères, les oiseaux, les reptiles, les batraciens, possédait des membres possédant ce type d'organisation, nous pouvons comprendre l'origine des similitudes constatées ».

Phylogène permet d'introduire ce type d'activité (voir la **première étape de la démarche historique**, proposée par Alain Pothet sur le site). L'idée est d'utiliser la fonctionnalité « Comparer » pour avoir sur un même écran le squelette des membres antérieurs de 4 vertébrés tétrapodes (Crapaud, lézard, pigeon, chauve-souris par exemple). La fonction « Imprimer » permet ensuite de travailler classiquement sur les squelettes des membres afin de révéler les homologues (même si on n'utilise pas ce terme en troisième). La recherche d'explications aux faits constatés amène à réinvestir ce que les élèves ont vu en génétique : le plan d'organisation des membres est héréditaire et des informations génétiques assurant sa réalisation se transmettent de génération en génération au sein d'une espèce. Si tous les vertébrés tétrapodes ont des membres construits suivant le même plan, c'est qu'ils possèdent tous un programme génétique commun qui régit le plan de construction des membres. De même que les attributs spécifiques à une espèce sont hérités des premiers représentants de l'espèce, ceux qui sont communs à plusieurs espèces sont hérités d'une espèce ancestrale commune : **c'est l'héritage par descendance**. Néanmoins les membres des tétrapodes sont actuellement différents ; cela signifie qu'à partir de cet ancêtre commun, il y a eu des modifications, elles-mêmes héréditaires, qui ont conduit à la diversité constatée actuellement : **c'est la descendance avec modifications**, c'est-à-dire l'évolution.

Dés ce stade, Phylogène permet de traduire graphiquement cette notion d'ancêtre commun. Pour cela, il suffit de sélectionner dans la collection des vertébrés 3^{ème}, un certain nombre de taxons tétrapodes et deux caractères : vertèbres, doigts. La construction de la matrice est très rapide et la fonction « Classer » permet automatiquement d'avoir une seule boîte contenant tous les taxons. La fonctionnalité « **Afficher l'arbre** » visualise par un cercle jaune la notion d'ancêtre commun et en cliquant sur ce cercle, on obtient les attributs qu'il possédait et qu'il a transmis à tous les taxons actuels. A vrai dire les taxons envisagés ne représentent qu'un tout petit échantillon des tétrapodes. La multifurcation représentée sur l'arbre **représente un ensemble** comme le traduit Alain Pothet dans un article du site : « **Des groupes emboîtés aux arbres de parenté** » En tout cas cette multifurcation ne traduit à ce stade aucune histoire évolutive.

3- Interpréter la classification sous forme d'un arbre

a) La classification sous forme de groupes emboîtés en troisième

La classification sous forme de groupes emboîtés est en troisième **un point de départ** et il n'y a pas de raison de recommencer l'apprentissage de sa construction ! La possibilité de partir d'un tableau des attributs des taxons d'une collection et la fonctionnalité « Classer » de façon automatique, font qu'on a très rapidement à l'écran, les groupements emboîtés à interpréter. Une révision des informations contenues dans une classification sous forme de groupes emboîtés est nécessaire. A vrai dire les constats sur les changements du monde vivant au cours de l'histoire de la vie peuvent être traduits sous cette forme (par exemple représentation sous forme de groupes emboîtés des vertébrés présents à divers moments, ou des végétaux au permo-carbonifère) et donc amener les élèves à bien en maîtriser la compréhension. Ainsi les constats sur les changements du vivant sont préparatoires à leur interprétation évolutive.

b) Deux grandes stratégies possibles

Le concept de descendance avec modification étant préalablement introduit, deux stratégies peuvent être utilisées pour envisager l'interprétation évolutive de la classification :

- une démarche consiste à partir directement de **la comparaison** de la classification des taxons et de celle de l'arbre achevé ; cela est possible en particulier si l'idée d'arbre a été introduite avec le concept de descendance avec modifications. Un des objectifs de cette façon de faire est de montrer que classification et arbre de parenté ont la même signification. Alain Pothet dans son article « **La place de l'homme parmi les vertébrés** » a développé une telle démarche.
- Une autre démarche consiste à **construire pas à pas l'interprétation évolutive de la classification** en commençant par la boîte la plus inclusive. Le raisonnement à tenir est celui vu à propos des membres des tétrapodes ; il est illustré dans l'article de Alain Pothet : « **Des groupes emboîtés aux arbres de parenté** ». Ainsi l'arbre se construit progressivement en même temps que la classification. En cliquant sur les cercles représentant les ancêtres communs successifs, on obtient les attributs des ancêtres communs d'une couleur pour ceux hérités de l'ancêtre qui les précède (héritage par descendance), d'une autre couleur pour ceux qui lui sont propres (c'est la descendance avec modifications). A la fin, on constate que les espèces actuelles, par exemple l'espèce humaine, présentent des attributs hérités d'ancêtres plus ou moins éloignés dans le temps. Le concept d'évolution est ainsi explicité.

c) Réflexions sur cet arbre de troisième

Comme cela a été rappelé précédemment, la méthodologie utilisée n'est pas celle de construction d'arbre par la méthode cladiste, pour la raison qu'on part d'une classification dont on admet implicitement qu'elle est correcte d'un point de vue phylogénétique (cela ne pose pas de problème étant donné le caractère général des collections). **L'arbre résulte d'une interprétation évolutive des boîtes** : les attributs possédés par tous les taxons de la boîte ont été hérités d'un ancêtre commun qui les possédait. C'est pourquoi l'arbre construit avec **Phylogène** en troisième met l'accent sur les **attributs des ancêtres** sans indiquer les innovations évolutives sur les branches. C'est différent de la démarche où on construit un arbre à partir de l'analyse des attributs des taxons en repérant les innovations sur les branches de l'arbre.

Il n'en reste pas moins qu'avec l'algorithme de l'arbre ce sont des espèces qui sont placées à l'extrémité des branches ; en toute rigueur, puisqu'on part des boîtes, **le nom de la boîte, seul**, devrait être à l'extrémité. Par exemple dans la collection des vertébrés, si on choisit une collection comprenant entre autres, trois mammifères, on obtient un arbre avec un ancêtre commun aux mammifères d'où partent trois branches, chacune avec une espèce de mammifère à l'extrémité. Cette trifurcation indique seulement que les trois espèces ont hérité d'un ancêtre commun leurs attributs de mammifères mais ne renseigne nullement sur l'histoire des lignées dont elles sont les représentants. Il faudrait pour cela prendre en compte d'autres caractères.

Quelle est dans cette structure **la signification des segments de l'arbre qui réunissent deux nœuds** (un segment qui réunit deux ancêtres communs 1 et 2 par exemple) ? Il indique seulement que l'ancêtre 2 a hérité de l'ancêtre commun 1 ses attributs et qu'en plus il y a eu une histoire évolutive non précisée qui a abouti à l'acquisition des attributs spécifiques à l'ancêtre 2. Considérons par exemple, l'ancêtre commun à tous les amniotes et celui propre aux mammifères. Le segment qui réunit les deux ancêtres indique qu'il y a eu une histoire évolutive marquée par des transformations de la mâchoire inférieure, l'acquisition de poils, de mamelles, etc. mais on ne sait rien de plus sur cette histoire.

4- La collection « unité du vivant » et la démarche scientifique

Tout à fait à la fin du tome second de « L'origine des espèces », Darwin écrit : « Jusqu'où pourra-t-on me demander, **poussez-vous votre doctrine de la modification des espèces** ? C'est là une question à laquelle il est difficile d'y répondre mais je serais disposé à affirmer que tous les animaux et toutes les plantes descendent **d'une seule forme primordiale** ». On peut à partir de cela sensibiliser à la pratique de la démarche scientifique : une théorie explicative doit permettre de faire des prédictions qui peuvent être ensuite corroborées ou infirmées par de nouveaux résultats expérimentaux ou de nouvelles données. Comme prédiction issue de l'hypothèse de l'origine commune de tous les êtres vivants, est celle qu'on doit trouver dans leur structure et leur fonctionnement des caractéristiques identiques. Cela peut être testé avec la collection « **unité du vivant** » comme Alain Pothet le montre dans son article (**Démarche historique deuxième étape**)

5- Les fossiles et l'interprétation évolutive de la classification

La lecture de l'arbre débouche sur un ordre d'apparition dans le temps des différents attributs. Plus un attribut est partagé, plus il doit être apparu tôt dans l'histoire du vivant. La **collection sur les fossiles de vertébrés** qui fournit des renseignements sur les plus anciens fossiles de chaque groupe permet de tester cette déduction. On peut obtenir une classification sous forme de groupes emboîtés des fossiles avec indication de l'âge du plus ancien fossile de chaque groupe. Dans son article « **Démarche historique : Tester le cadre temporel de l'évolution** » Alain Pothet développe les différents moments de la démarche.

6 – Les intermédiaires structuraux et l'histoire du vivant

La réflexion sur la signification des segments de droite reliant deux ancêtres communs amène à conclure qu'ils symbolisent des histoires évolutives au cours desquelles il y a des innovations évolutives. A moins d'admettre une transformation brutale d'un type d'organisme en un autre, on peut penser qu'il est possible de trouver dans l'enregistrement fossile, **à des moments bien appropriés, des témoins** de cette histoire. C'est l'utilisation des **intermédiaires structuraux** comme témoins des transformations évolutives. Guillaume Lecointre insiste sur le fait que cette notion d'intermédiaire véhicule des idées fausses dans la mesure où elle est souvent assimilée à celle de **chaînon manquant** et suggère une évolution linéaire. En revanche, **la notion d'intermédiaire structural est parfaitement valable** à condition de ne pas le considérer comme un ancêtre mais comme un témoin, un stade d'une histoire évolutive, présentant une mosaïque originale de traits.

La collection « **Origine des tétrapodes** » peut être utilisée dans cette perspective. Les plus anciens tétrapodes connus, Acanthostega, Ichthyostega, datent de 360 millions d'années environ (ces fossiles donnent une idée des premiers tétrapodes sans qu'on les considère comme les ancêtres des tétrapodes pour cela). Avant cette période, il n'existait pas de tétrapodes, mais uniquement des vertébrés possédant des membres pairs de type nageoire avec des rayons. Suivant la théorie de l'évolution, **les tétrapodes doivent être issus de vertébrés à nageoires, évolution qui doit avoir eu lieu avant 360 millions d'années**. Cette évolution a porté non seulement sur le membre, mais aussi sur d'autres attributs comme l'acquisition d'un cou (la ceinture scapulaire se sépare de la tête ce qui permet de distinguer des vertèbres cervicales). Eusthenopteron et Tiktaalik présents dans la collection des tétrapodes sont des intermédiaires structuraux ayant vécu avant 360 millions d'années, évoquant deux stades de l'histoire évolutive ayant conduit aux tétrapodes. Par là ils confortent l'évolution. Alain Pothet précise dans son article (« **Le test de la descendance avec**

modifications ») comment on peut utiliser cette collection dans cette perspective. Comme le souligne Armand de Ricqlès, on peut remarquer « que la preuve de l'évolution par les fossiles n'est pas exactement de même nature que la preuve par démonstration des sciences expérimentales ; il s'agit d'une preuve par accumulation de données convergentes, ce qui est typique des sciences historiques ».

Phylogène et l'enseignement de l'évolution au lycée

1- Différences entre l'utilisation de phylogène au lycée par rapport au collège

Il est difficile de préjuger la place qui sera réservée à l'enseignement de l'évolution dans la réforme des programmes du lycée et donc à l'utilisation de Phylogène dans l'avenir. Avec les programmes actuels, c'est en seconde et surtout en terminale que le logiciel peut servir d'appui pour traiter les points en rapport avec l'évolution. Ces programmes actuels du second cycle ont été conçus à une période où on n'enseignait pas au collège la classification phylogénétique des êtres vivants et son interprétation évolutive. En conséquence, il y a un certain chevauchement entre les nouveaux programmes du collège, notamment de troisième et ceux du lycée.

En seconde, il s'agit surtout de faire prendre conscience **de l'unité des êtres vivants** à l'échelle cellulaire et moléculaire, unité qui s'explique par leur origine commune. L'idée que tous les êtres vivants sont apparentés mais qu'ils le sont de manière plus ou moins étroite, est introduite à partir de la mise en évidence **du plan d'organisation** commun aux vertébrés, héritage de leur ancêtre commun qui n'est pas celui des autres organismes. On voit par là qu'on recoupe des sujets abordés en troisième. **En conséquence, la collection sur « l'unité du vivant » et celle sur les « vertébrés » de troisième peuvent être utilisées en seconde** avec les fonctionnalités qui sont celles du collège. Néanmoins, une originalité du second cycle, présente dès la classe de seconde, réside dans l'exploitation des données moléculaires. En seconde, il s'agit surtout de sensibiliser à l'idée de gènes partagés par tous les êtres vivants ou au moins par de nombreux. C'est le cas par exemple du gène CDC2 qui intervient dans le contrôle du cycle cellulaire des eucaryotes et celui des gènes homéotiques qui régissent l'organisation antéro-postérieure des métazoaires bilatériens. **Phylogène**, grâce à son fichier de données moléculaires sur les parentés entre organismes et le traitement de ces données qu'il réalise, permet de sensibiliser à l'idée d'unité du vivant à l'échelle des molécules.

En terminale, Phylogène est utilisé pour établir les relations de parenté au sein des vertébrés puis chez les primates. Cette utilisation permet notamment de situer la place de l'Homme dans le règne animal comme le demande le programme : « L'Homme est un eucaryote, un vertébré, un tétrapode, un amniote, un mammifère, un primate, un hominoïde, un hominidé, un homininé ». On perçoit facilement le recoupement avec le programme de troisième puisque se retrouvent dans les deux cycles, la classification phylogénétique des vertébrés et la place de l'homme dans cette classification.

Néanmoins les approches des deux cycles sont différentes et recourent l'histoire des relations entre classification et évolution. Dans « **L'origine des espèces** », Darwin utilise les classifications de son époque qui reposaient sur le principe de subordination des caractères (donc pouvaient être présentées sous forme de groupes emboîtés) comme **supports** confortant la réalité de l'évolution (« le lien que nous révèlent partiellement nos classifications n'est autre que la communauté de descendance, la seule cause connue de la similitude des êtres organisés ». Il était bien conscient que les classifications de son époque n'étaient pas tout à fait satisfaisantes et précisait clairement le critère auquel elles devaient répondre : **être généalogiques (au sens de phylogéniques** ; terme qui sera créé après). Mais il n'a pas réussi à préciser la méthode pour qu'elles le soient. Il faudra attendre les années 50 pour que Hennig propose une série de règles pour reconstituer les parentés évolutives entre les êtres vivants, règles **qui reposent sur l'évolution**. Ainsi actuellement les classifications **résultent** de la mise en évidence des parentés entre les êtres

vivants, tout groupe reconnu par la classification devant être monophylétique c'est-à-dire contenir un ancêtre commun et tous ses descendants.

Au collège, on se trouve en somme dans une situation proche de celle de Darwin : on établit **en premier** la classification sous forme de groupes emboîtés et sans référence à l'évolution, et son interprétation conduit à l'évolution, à un arbre phylogénétique. Au **lycée** en revanche, **la notion d'évolution** qui a été précisée en seconde et réaffirmée au tout début du programme de TS (« L'état actuel du monde vivant résulte de l'évolution ») **précède** la recherche des relations de parenté entre les êtres vivants et donc les classifications qui en découlent. C'est ce qui permet l'application, au moins partielle, des principes cladistes débouchant sur des classifications strictement phylogénétiques.

2- Les matrices de caractères au collège et au lycée.

Dans les deux cas, il faut observer les organismes du groupe à étudier, repérer des caractères pour lesquels il existe des différences au sein du groupe et traduire ces observations dans une matrice. Celle-ci va permettre de classer au collège, d'établir les relations de parenté au lycée. Il existe cependant une différence importante dans ces matrices.

Au lycée, du fait que la notion d'évolution est acquise, **tout repose sur la distinction entre état dérivé et état ancestral** (ou primitif) d'un caractère. Conformément à la descendance avec modification (donc l'évolution) l'état dérivé est le produit de la transformation de l'état primitif. A vrai dire cet état dérivé d'un caractère peut-être l'apparition d'un caractère qui n'existait pas antérieurement (par exemple l'amnios), la transformation d'un caractère (par exemple le passage d'une mâchoire à plusieurs os à celle à un seul os) ou la perte d'un caractère (disparition des membres chez les serpents par exemple). Les matrices du lycée indiquent donc sur **la ligne horizontale** du haut, **les caractères** (« nature des appendices pairs » ; « connexion du membre antérieur sur la ceinture scapulaire », « nombre d'os à la mâchoire », etc.) et dans les cases les états des caractères, en précisant par la couleur, les états dérivés et primitifs. A partir de cette matrice, on construit l'arbre phylogénétique, en ne prenant en compte que les états dérivés, seuls garants d'une parenté exclusive entre les organismes.

Au collège, où on classe sans référence préalable à l'évolution, il n'y a pas d'états dérivés des caractères. Le mot « caractère » n'a pas le même sens qu'au lycée, ce qui fait que pour éviter l'ambiguïté, on préfère le terme **d'attribut**. Très souvent un attribut correspond à **un état du caractère**. Par exemple, on considère les attributs, nageoire à rayons, membres avec doigts, poils, plumes, ongles, etc. **et la sélection de ces attributs est faite de sorte que leur présence chez un organisme correspond à un état dérivé.**

Il n'y a donc pas de distorsion entre les phylogénies des deux cycles. **Il n'en reste pas moins que seules les matrices du lycée, reposent explicitement sur le concept d'évolution** : les matrices du collège ne doivent pas être utilisées au lycée.

3- La construction des matrices de Phylogène au lycée

Le remplissage de la matrice est dirigé par les caractères retenus pour chaque collection et les états de ces caractères demandés par le questionnement. Jusqu'à présent, après vérification de l'exactitude de la matrice, on passait à la fonction « Arbre » où la polarisation des états des caractères était faite automatiquement. Cette polarisation est une étape fondamentale de la méthodologie cladiste ; aussi une évolution récente du logiciel, grâce à la fonctionnalité « **Polariser** », est de permettre aux élèves d'effectuer le codage des états des caractères. Pour cela, on fait appel à **la notion d'extra groupe**. Le critère **extra groupe** consiste à considérer une (ou plusieurs espèces) dont on sait qu'elle est extérieure à l'échantillon d'espèces chez qui on établit la phylogénie (elle ne descend pas de l'ancêtre commun exclusif aux espèces de l'échantillon). On admet que pour tous les caractères du groupe d'étude pour lesquels on trouve des états différents, l'extra groupe possède les états primitifs. Cet extra groupe doit présenter une anatomie comparable aux espèces analysées et donc posséder des caractères homologues avec ceux du groupe d'étude. La règle d'utilisation de l'extra groupe admet qu'il n'y ait pas eu d'évolution convergente dans le groupe d'étude et celui de l'extra groupe pour tous les caractères envisagés.

Il aurait été possible de mettre dans chaque collection une espèce extra groupe bien répertoriée. Une autre solution a été choisie : avec la fonctionnalité « polariser », on a accès à une liste déroulante de taxons pouvant jouer le rôle d'extra groupe. L'élève doit choisir un extra groupe qui lui semble pertinent puis observer les états des caractères chez cet extra groupe. A partir de là, il doit colorer d'une couleur différente dans la matrice les états primitifs et dérivés des divers caractères. Ainsi cette activité a pour objectif de conduire l'élève à bien s'approprier la notion d'état dérivé d'un caractère. La notion d'extra groupe n'est pas exigible à l'examen ; aussi on a gardé la possibilité de passer directement à la fonction « Arbre » qui fournit grâce au code couleur les états primitifs et dérivés des caractères.
