

Thème 1A – Génétique et évolution

1. – Thème 1A1 - Le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique	Erreur ! Signet non défini.
1.1. Commentaire général	Erreur ! Signet non défini.
1.1.1. Acquis à mobiliser	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2. Les nouvelles notions à bâtir	2
1.1.3. Quelques pistes pédagogiques	2
1.2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A1	4
2. Thème 1A2 - Diversification génétique et diversification des êtres vivants	8
2.1. Commentaire général	8
2.1.1. Acquis à mobiliser	8
2.1.2. Représentations initiales et nouvelles notions à bâtir	8
2.1.3. Quelques pistes pédagogiques	8
2.2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A2	11
3. Thème 1A3 - De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité	Erreur ! Signet non défini.
3.1. Commentaire général	13
3.1.1. Acquis à mobiliser	13
3.1.2. Représentations initiales et nouvelles notions à bâtir	Erreur ! Signet non défini.
3.2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A3	15
4. Thème 1A4 - Un regard sur l'évolution de l'Homme	Erreur ! Signet non défini.
4.1. Commentaire général	Erreur ! Signet non défini.
4.1.1. Acquis à mobiliser	Erreur ! Signet non défini.
4.1.2. Représentations initiales et nouvelles notions à bâtir	Erreur ! Signet non défini.
4.1.2. Quelques pistes pédagogiques	Erreur ! Signet non défini.
4.2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A4	20

Thème 1A – Génétique et Evolution

1. Thème 1A1 – Le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique

1. Commentaire général

1. Acquis à mobiliser

Les notions suivantes ont été abordées à ce stade de la scolarité :

- chromosome constitué d'ADN, support de l'information génétique
- gène – allèle – notion de dominance/récessivité au niveau cellulaire et macroscopique
- caryotype identique pour tous les individus d'une même espèce
- caryotype identique pour toutes les cellules de l'organisme (sauf les cellules reproductrices)
- existence dans chaque cellule de paires de chromosomes portant les mêmes gènes mais pas forcément les mêmes allèles (donc génétiquement différents)
 - maintien du nombre de chromosomes lors de la reproduction sexuée : séparation des paires de chromosomes lors de la formation des cellules reproductrices (qui ont donc un seul chromosome de chaque paire) et reconstitution de paires de chromosomes lors de la fécondation
 - production, par un même individu, de cellules reproductrices génétiquement différentes expliquée par la répartition au hasard des deux chromosomes de chaque paire
 - unicité de chaque individu issu de la reproduction sexuée

Remarque : les termes de chromosomes homologues, de méiose et de brassage chromosomique n'étaient pas au programme des années antérieures, et seront donc à introduire.

2. Les nouvelles notions à bâtir

- La notion de brassage intra et interchromosomique lors de la formation des gamètes en relation avec le déroulement de la méiose
- L'unicité génétique de chaque zygote, unicité résultant des brassages chromosomiques ayant lieu lors des deux phases clés de la reproduction sexuée (méiose et fécondation) : « chaque zygote contient une combinaison unique et nouvelle d'allèles »
- La notion « d'anomalies » pouvant survenir lors du déroulement de la méiose et leurs conséquences pour l'individu (trisomies, ...), mais aussi en terme de source de diversification du vivant (apparition de nouveaux gènes / familles multigéniques)

3. Quelques pistes pédagogiques

- Faire le point sur la stabilité des caryotypes : il s'agit ici essentiellement de **mobiliser les acquis** des classes antérieures (*cf point 1.1.1*).

Cette mobilisation peut prendre des **formes variées** : schémas à compléter et/ou à ordonner - arguments à extraire de documents et à mettre en relation pour justifier cette stabilité du caryotype - QCM sur documents - ...

Cela peut aussi être l'occasion de réaliser une **évaluation diagnostique**, dont on rappelle qu'il s'agit d'une évaluation d'un type particulier, qui ne donne pas lieu à une note, et qui poursuit plusieurs objectifs : faire le point sur les acquis, les représentations des élèves, et poser les problèmes qu'il reste à résoudre.

Exemple : des observations réalisées dans un élevage accompagnées de documents présentant les caryotypes des parents et des petits est l'occasion :

- *De constater la conservation du caryotype au cours de la reproduction sexuée et de mobiliser à cette occasion les acquis (cellules reproductrices, fécondation, complémentarité du mécanisme de formation des cellules reproductrices et de la fécondation, ...). Le terme de méiose peut être alors être introduit*
- *De constater la diversité des descendants (on aura pris soin de porter les observations sur des élevages où il existe une certaine diversité phénotypique), ce qui est l'occasion de mobiliser certains acquis (gènes, allèles, caractères, ...), de poser la notion de brassage (ici il s'agit de brassage de caractères) et de s'interroger sur les mécanismes qui permettent ce brassage des caractères, donc des chromosomes et des gènes.*

Remarque : dans le prolongement de cette évaluation diagnostique, le déroulement de la méiose (différentes étapes, sans analyse en terme génétique) et celui de la fécondation pourraient être abordés, les phénomènes cellulaires et chromosomiques étant ainsi posés, ils pourront être utilisés lors de l'étude suivante sur le brassage chromosomique et allélique.

- Aborder la notion de brassage génétique lors de la reproduction sexuée :
 - le déroulement de la méiose sera établi dans ses grandes lignes à partir des observations microscopiques réalisées en articulation avec la visualisation de séquences vidéos et/ou d'animations
 - la notion de brassage lors de la méiose sera abordée à partir de l'analyse de résultats de croisements de type « test-cross ».

Il est important que les élèves aient bien compris que les phénotypes des descendants renseignent directement sur le génotype des gamètes produits par le parent hétérozygote pour que l'analyse des résultats puisse réellement se faire en relation avec l'objectif fixé.

Une fois que les élèves ont bien compris cela, il est possible de les placer en situation de **pratiquer une démarche d'investigation**, particulièrement intéressante si les élèves travaillent en ateliers. L'analyse statistique des résultats de différents croisements de type test-cross sera l'occasion de représenter le comportement des allèles en relation avec celui des chromosomes lors de la méiose (schémas, manipulations de maquettes, ...).

Il serait particulièrement intéressant que **des élèves de terminale S arrivent à s'interroger** sur des résultats qui ne correspondraient pas à leurs attentes, ne leur sembleraient pas « logiques », et que des informations complémentaires (figures de chiasmas en prophase I de méiose), fournies au moment opportun, leurs permettent d'imaginer le phénomène de crossing over.

- Les conséquences génétiques de la fécondation seront abordées en cohérence avec les conséquences génétiques de la méiose, dans le contexte de l'étude de croisements au sein d'un élevage par exemple, de façon à bien mettre en évidence le phénomène d'amplification du brassage interchromosomique ayant lieu à la fécondation par rapport au brassage ayant lieu lors de la méiose. Ce phénomène d'amplification concourt à la grande diversité, voire à l'unicité, des individus issus d'une reproduction sexuée.

Remarque : dans toute cette phase de travail sur des résultats de croisements et d'analyse statistique, il est important de se rapprocher de l'enseignant de mathématiques afin d'établir une cohérence entre les notions abordées dans les deux disciplines (croisement entre la combinatoire génétique et la formalisation mathématique). Des ressources intéressantes sont disponibles dans ce domaine sur le site [Statistix \(http://www.statistix.fr/\)](http://www.statistix.fr/).

- Aborder la notion d'anomalies lors du déroulement de la méiose et leurs conséquences
 - Anomalies caryotypiques et conséquences pour l'individu : les élèves ont découvert au collège l'existence de certaines anomalies caryotypiques dans l'espèce humaine (trisomies

essentiellement). Il a été établi que ce nombre anormal de chromosomes empêche le développement de l'embryon ou entraîne des caractères différents chez l'individu concerné.

Il reste maintenant à expliquer l'apparition de ces anomalies.

Un travail en atelier dans le cadre de la pratique d'une **démarche d'investigation** et/ou de **résolution de tâche complexe** est particulièrement approprié pour cette étude. Des exemples différents pourraient être proposés à différents groupes d'élèves au sein de la classe, chaque groupe étant chargé de trouver et de présenter les mécanismes à l'origine de l'anomalie qu'il a étudiée, comme le ferait un médecin chargé de fournir des explications à un couple concerné par ces problèmes.

Remarque : l'étude de différents cas de trisomie 21 (cas avec un chromosome 21 surnuméraire – cas avec une translocation) peut être intéressante pour préparer à la découverte de la notion de duplication.

◦ Anomalies à l'origine de duplications géniques et conséquences en terme d'évolution : la découverte du phénomène de duplication génique doit être nécessairement replacée dans un contexte évolutif.

Cette étude pourrait tout à fait trouver sa place dans le cadre de l'étude du thème 1A2 « diversification génétique et diversification des êtres vivants ». Elle peut constituer une **liaison entre les thèmes 1A1 et 1A2**.

Plusieurs approches pédagogiques sont envisageables :

- présentation des phénomènes (en s'appuyant sur des documents scientifiques et/ou des animations) : crossing-over inégal à l'origine d'une duplication génique, puis devenir possibles des duplicata et notion de famille multigénique. Ces phénomènes étant maintenant connus, il est possible de soumettre aux élèves des exemples concrets de familles multigéniques, avec pour objectif de reconstituer « l'histoire génétique » de cette famille. Si différents groupes travaillent sur des exemples différents (famille où les gènes codent pour des protéines ayant conservé un rôle similaire, famille où les gènes codent pour des gènes aux fonctions très différentes, ...), une phase de mutualisation sera l'occasion de souligner l'importance de ce phénomène de duplication génique, ayant pour origine une anomalie de la méiose, en terme d'évolution du vivant. Selon le niveau de la classe, on pourrait aussi proposer à certains groupes un travail qui porte d'une façon plus générale sur la notion de bricolage moléculaire (travail sur des exemples d'homologies partielles de certains gènes qui illustrent le fait que des gènes peuvent être constitués de fragments de plusieurs autres gènes), ou encore sur l'existence de pseudo-gènes dans l'ADN non codant.
- résolution de tâche complexe : les élèves disposent de plusieurs documents (définition d'une famille multigénique, document présentant un mécanisme de duplication génique, données sur des gènes d'une même famille et outil de comparaison de séquences, documents précisant le rôle dans l'organisme des protéines codées par ces gènes, document présentant les gènes présents chez différents organismes ayant des relations de parenté, ...) et doivent utiliser ces documents pour argumenter du fait que « des anomalies survenant au cours de la méiose peuvent être source de diversification du vivant ».

Remarque : au terme de cette étude, c'est la notion de plasticité du génome qui peut être dégagée, en lien avec l'étude du thème suivant

2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A1

1. Bibliographie

Titre	Références	Commentaire
-------	------------	-------------

Biologie cellulaire et moléculaire – Concepts et expériences	3 ^e édition – 2010 – C. Karp - ed. De Boeck –	Ouvrage pour la mise à jour des connaissances et illustrations (photos, schémas) Une synthèse particulièrement complète des connaissances actuelles sur l'organisation et le fonctionnement de la cellule, les relations intercellulaires, la résistance aux antibiotiques, les maladies héréditaires, les virus, ... Une approche à partir de la confrontation des mécanismes normaux et pathologiques (recherches biomédicales). Une approche historique de certaines découvertes.
Génétique médicale – De la biologie à la pratique clinique	A. Read, D. Donnai – ed. De Boeck Supérieur – 2008	Ouvrage pour la mise à jour des connaissances, pour trouver des exemples supports d'activités, ... Un panorama en plusieurs chapitres pour aborder la génétique médicale, le conseil génétique aux maladies plurifactorielles, la médecine prénatale et la cancérologie. Chaque chapitre fait le lien entre les avancées de la biologie fondamentale, celles des techniques de laboratoire et de leurs conséquences en pratique clinique.
Évolution moléculaire –	P. Luchetta, M.C. Maurel, D. Higuët et al. – Collection Sciences Sup – ed. Dunod - 2005	Ouvrage pour la mise à jour des connaissances, pour trouver des exemples supports d'activités, ... Ouvrage qui rassemble les connaissances actuelles dans ce domaine, et notamment les mécanismes moléculaires à l'origine de la création de nouveautés génétiques (duplication, insertion d'éléments transposables, brassage d'exons, épissage alternatif, rôle des pseudogènes et des introns dans l'évolution, ...). Une partie entière est également consacrée à l'étude de la structure et à l'évolution des génomes ainsi qu'à la reconstitution et à la compréhension de l'histoire évolutive des êtres vivants.
Article « La duplication des gènes, moteur de l'évolution »	La Recherche n°429 – avril 2009 – J. Schacherer	En 2004 l'équipe de Sanjeev Krishna, de l'école de médecine de l'hôpital St George de Londres, a ainsi étudié le génome d'une population de <i>Plasmodium falciparum</i> , le parasite responsable du paludisme. Cette population avait pour particularité d'être résistante à un médicament nommé méfloquinine. L'équipe londonienne a montré que cette résistance était corrélée à l'augmentation du nombre de copies d'un gène nommé <i>pfmdr1</i> . Il s'agit d'un gène qui code un transporteur impliqué dans l'expulsion, par le parasite, de nombreuses molécules toxiques (dont la méfloquinine). En avoir plusieurs copies constitue donc un avantage pour la population de <i>Plasmodium</i> concernée. http://www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=25131
Article « Familles multigénique et dynamique des génomes »	bulletin APBG – n° 3 – 2010 – H. Tostivint, professeur au MNHN de Paris, laboratoire « évolution des régulations endocriniennes »	Illustration de l'importance des duplications dans l'évolution de quelques familles multigéniques de vertébrés

Génétique Évolution	et	Pierre-Henri Gouyon Ed.Gallimard, coll. « CIRCO », 2007	DVD
------------------------	----	---	-----

2. Sitographie

Le site Biologie et Multimedia de l'Université Pierre et Marie Curie (<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/>), et notamment :

- http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Meiose/Meiose_fichiers/Meiose3.swf : animations sur le déroulement de la méiose et le brassage génétique -
- <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/drosoelevage/dros-elv.htm> : informations pratiques sur les drosophiles de phénotype sauvage et leur élevage
- <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/gen-trib/gen-trib.htm> - informations pratiques sur l'élevage et quelques caractères du ver de farine (*Tribolium castaneum*) en vue de la réalisation de croisements -
- <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/meioseprep/meiose.htm> : les figures de méiose végétales (ici l'ail des ours) sont plus difficiles à obtenir que les figures de mitose, principalement parce que la fenêtre temporelle pendant laquelle se déroule la méiose est courte. La méthode proposée, en permettant la conservation d'anthers pendant plus d'un an, permet de s'affranchir de cette difficulté. Ainsi, l'étude de la méiose peut se dérouler selon des modalités proches de celle de la mitose, avec réalisation personnelle des préparations observées, sans être dépendant du calendrier
- <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/gen-trib/gen-trib.htm> : diaporama Power Point avec animation montrant les étapes de la méiose avec recombinaison homologue par crossing over.

Le site de l'Université Pierre et Marie Curie

- http://www.edu.upmc.fr/sdv/masselot_05001/biodiversite/duplication.html : duplication de gènes -- cours en ligne pour actualiser ses connaissances

Site du CNRS – dossiers « Les sciences de la vie au lycée » - Données diverses sur les génomes et l'évolution

<http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelavieaulycee/>

<http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelavieaulycee/evolution/meiose.htm>

Site Biotic de l'INRP/IFE – contrôle génétique de la mise en place du plan d'organisation

<http://www.inrp.fr/Acces/biotic/develop/controle/accueil.htm>

Le site PLOS Biology, une librairie scientifique en ligne en « open access» (<http://www.plosbiology.org/home.action>, site en anglais) et notamment :

- <http://www.plosbiology.org/article/info:doi/10.1371/journal.pbio.0030314#sg001> : un article sur les duplications totales de génomes chez les vertébrés au cours de leur évolution

Atlas of Genetics and Cytogenetics in Oncology and Haematology - Chromosomes et anomalies chromosomiques - Inventaire des anomalies chromosomiques (de structure et de nombre)

<http://atlasgeneticsoncology.org/Educ/PolyMecaFr.html> (en français)

Universcience-VOD – plateforme vidéo des sciences et des technologies - le premier caryotype -
Réalisation : Hervé Colombani ; Production : CNRS Images - Cité des sciences et de l'industrie ; date de production : 2005)

<http://www.universcience-vod.fr/media/639/microscope-optique---1er-caryotype.html>

Aujourd'hui, cette image est connue, elle représente un caryotype humain. C'est en 1955 que pour la première fois, on a pu voir distinctement l'ensemble des 46 chromosomes d'un individu. Cette image est maintenant devenue courante dans le cadre des diagnostics prénataux, mais on peut se demander pourquoi et comment elle a été réalisée lors de sa découverte.

« Mais qui donc a saboté la méiose ? » - Aveline Lempereur et Sandra - Prix du public Festival *Les chercheurs font leur cinéma* 2011.

<http://www.universcience-vod.fr/media/4321/mais-qui-donc-a-sabote-la-meiose--.html>

La Cour suprême de la Reproduction juge Chromatide 21, soupçonné d'avoir fait échouer la division cellulaire dans ses premiers instants. Une enquête est menée parmi les acteurs de la conception...

Université Bordeaux Segalen – Vidéotheque numérique de l'enseignement supérieur - Les étapes de la réalisation d'un caryotype – film –

http://www.canal-u.tv/themes/sciences_de_la_sante_et_du_sport/fondamentaux/biologie/realisation_pratique_d_un_caryotype_en_hematologie

(12'21" ; 1997 ; Producteur(s) : Université Bordeaux Segalen - DCAM ; Réalisateur(s) : Philippe ISIDORI)

Médiathèque de l'équipe Genet Université de Tours (vidéos, images, webthèque, biblio...)

<http://genet.univ-tours.fr/mediatheque/accueilmedia.htm>

Collection mémoires et thèses électroniques de l'Université de Laval (Canada)

Extrait de thèse d'E. Bouchart – 2006 – Méiose – systèmes de réparation de l'ADN, ...

<http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/23697/ch01.html#d0e605>

Pour actualiser ses connaissances

Ressources académiques :

- <http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/svt/cgaulsvt/travaux/animatio/mitmeio/tpmeiose.htm> - Vidéo avec possibilité de stopper l'image, avancer et retourner en arrière + schémas des étapes de la méiose

- http://svt.ac-dijon.fr/dyn/article.php3?id_article=205 - Un petit exercice de révision constitué d'une application EXE à télécharger, pour reconnaître et commenter les étapes de la méiose.

Simple et rapide à mettre en place durant une séquence

- http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=2345 - Méiose et brassage interchromosomique : diaporama simple et clair (existe en diaporama Power Point et au format Word).

- <http://ww2.ac-poitiers.fr/svt/IMG/swf/caryotype.swf>

- <http://pedagogie.ac-amiens.fr/svt/info/logiciels/genetic/caryot/caryotsexicons.htm> - Site proposant des caryotypes à compléter.

- http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=1734 - Méiose et crossing over. Schéma simple au format Word.

- <http://www.ac-reims.fr/datice/svt/docpedagacad/lycee/sciencvie/genetique/caryotype/caryo2/sommairecaryo.htm> - Caryotypes humains avec et sans anomalies

- <http://www.ac-reims.fr/datice/svt/docpedagacad/lycee/sciencvie/procreation/sexe/reprodu.htm#reproduction> -

Reproduction sexuée, reproduction asexuée : une approche différente de la question (2004)

- http://svt.ac-rouen.fr/tice/animations/fusin/division_cellulaire.swf - Animation très simple permettant aux élèves de schématiser méiose et/ou mitose. Le schéma est imprimable.

3. Logiciels et bases de données

- Animation sur le déroulement de la méiose -

<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=bio-0051-2>

- « Génétique » pour aborder la transmission lors de la formation des gamètes. Il peut être utilisé pour faire le point sur les acquis de 3e

<http://svt.ac-rouen.fr/tice/animations/genetique/genetique.htm>

2. Thème 1A2 – Diversification génétique et diversification des êtres vivants

1. Commentaire général

Remarque : les mécanismes de diversification abordés sont étroitement liés aux notions d'espèce et de spéciation, abordées dans le thème 1A3. Il est donc tout à fait possible d'aborder cette partie de programme après l'étude du thème 1A3, ou encore de profiter de l'étude menée à l'occasion de la découverte de la diversité des mécanismes de diversification des êtres vivants pour aborder la notion d'espèce et la notion de spéciation.

On veillera à ne pas se limiter à l'étude d'un exemple qui permettrait de tout aborder, mais de permettre aux élèves d'appréhender la diversité des mécanismes et des phénomènes impliqués, l'objectif prioritaire étant de développer chez les élèves des compétences en matière de pratique du raisonnement scientifique et de l'argumentation.

1. Acquis à mobiliser

- notion de biodiversité à différentes échelles, et relations de cause à effet entre la biodiversité à l'échelle des organismes et la biodiversité génétique
 - le phénotype macroscopique dépend du phénotype cellulaire, lui-même induit par le phénotype moléculaire
 - le phénotype moléculaire dépend du patrimoine génétique de la cellule et de la nature des gènes qui s'expriment sous l'effet de l'influence de facteurs internes et externes variés
 - l'expression d'un phénotype dépend donc du génotype et de l'environnement)
 - **les mutations sont la source aléatoire de la diversité des allèles, fondement de la biodiversité**
- notion de caractères héréditaires, transmis lors de la reproduction sexuée, et modalités de cette transmission (*cf thème 1A1 de Tle S*)
 - possibilité de survenues d'anomalies lors du déroulement de la méiose, et ont perçus les conséquences de ces anomalies, pour l'individu, mais aussi dans un contexte d'évolution du vivant
 - notion de plan d'organisation (des vertébrés)
 - notion d'homologie moléculaire (utilisées pour établir des relations de parentés)

2. Représentations initiales et nouvelles notions à bâtir

D'une façon générale, à ce stade des connaissances, les élèves pensent que ce sont les mutations qui sont essentiellement à l'origine de la diversification des formes de vie, donc des génomes. Ils ont découvert lors de l'étude du thème 1A1 que de nouveaux gènes pouvaient apparaître par duplication puis modification (mutations) d'un gène préexistant.

Il s'agit maintenant de leur faire prendre conscience :

- de la diversité des mécanismes de diversification des génomes
- de l'existence et de l'importance des gènes impliqués dans le développement et des conséquences possibles de leurs variations
- de la possibilité de diversification du vivant sans modifications génomes par mutations
- de la possibilité de transmission de caractères comportementaux d'une génération à l'autre par voie non génétique

Il est important de ne pas perdre de vue que les mécanismes étudiés ne le sont pas pour eux-mêmes, mais sont à étudier en relation avec leurs conséquences sur la diversification des êtres vivants.

Il ne s'agit pas ici d'aboutir à une liste de processus de diversification du vivant ni de viser l'exhaustivité, mais simplement de proposer aux élèves des situations de travail qui leur permettent **d'appréhender la diversité et la complexité des mécanismes**. L'accent sera mis sur la pratique de la démarche d'investigation, sur l'argumentation scientifique, sur le développement de l'autonomie des élèves, dans une optique de formation scientifique et de compréhension de ce qu'est la science, en perpétuelle évolution en fonction des nouvelles données disponibles.

3. Quelques pistes pédagogiques

Les pistes données ci-dessous s'adressent aux enseignants qui ont choisi d'aborder séparément les thèmes 1A2 et 1A3. Pour ceux qui ont choisi d'aborder de façon liée les thèmes 1A2 et 1A3, des pistes pédagogiques sont proposées dans le chapitre suivant.

Aborder les mécanismes de diversification des génomes/diversification des êtres vivants

Si l'on souhaite aborder de manière distincte les mécanismes de diversification des génomes, un travail par ateliers, tournants ou non, semble être la stratégie pédagogique la plus adaptée. Dans chaque atelier, les élèves disposent de documents, de données et d'outils de traitement de ces données, qui leur permettent d'identifier le mécanisme mis en jeu et d'en préciser les caractéristiques. Une communication synthétique à l'ensemble de la classe en fin de séance si les élèves n'ont travaillé chacun que sur un exemple, ou encore la réalisation d'une affiche ou d'un document donnant une idée de la diversité des mécanismes en jeu, seront l'occasion de développer des compétences dans le domaine de la communication scientifique.

Dans le cadre de la préparation des élèves aux études supérieures, il peut être intéressant ici de confronter les élèves à des documents scientifiques parfois un peu complexes, le travail consistant alors à en dégager les principes essentiels.

Quelques exemples

(certains sont utilisables dans le cadre d'une étude regroupée des notions des thèmes 1A2 et 1A3, car ils sont aussi l'occasion d'aborder les mécanismes à l'origine de la spéciation ou encore d'évoquer le cas d'hybrides fertiles)

- *Nombreux exemples de polyploïdisation chez les végétaux*
- *Salamandres hybrides – polyploïdisation – hybrides fertiles (cf ressource sur le [site svt de nantes](#))*

- *Souris de Madère – remaniements chromosomiques*
- *Tournesols américains – polyploïdisation*
- *Chou/navet (Raphanus) – polyploïdisation*
- *Mollusques gastéropodes (Bulinus truncatus) – polyploïdisation (on connaît des populations à 2n sous les tropiques, à 4n en milieu tempéré, à 6n et même 8n en altitude) (pour les autres ressources disponibles cf rubrique 2.2)*

Aborder l'importance des changements dans l'expression des gènes de développement/diversification des êtres vivants

Les élèves découvrent à cette occasion **l'existence de gènes impliqués dans le développement**.

Il doivent arriver à percevoir le fait que ces gènes vont entrer en jeu à des moments et en des lieux précis lors du développement. **La chronologie et le timing de l'expression de ces gènes sont donc essentiels**, ce qui interroge sur leur « contrôle ». *Aucune étude détaillée des modalités de l'expression de ces gènes et de leur contrôle n'est attendue.*

Il est également important que les élèves découvrent **l'homologie importante des gènes de développement** au sein des groupes (vertébrés, mais aussi d'une façon plus générale au sein du vivant), dans l'optique de prendre conscience du fait que des changements dans ces gènes peuvent avoir des conséquences très importantes et être à l'origine de nouveaux plans d'organisation.

- **L'étude de mutants**, par exemple chez les membracidés ou chez la drosophile, peut être l'occasion de découvrir les gènes de développement et les conséquences des changements dans leur expression. Les élèves doivent percevoir le fait que des organismes viables et fertiles, peuvent résulter de modifications de l'expression de gènes de développement et être à l'origine de nouvelles formes du vivant (c'est l'idée de « *monstre prometteur* »).

- Une activité portant sur des **comparaisons de séquences de gènes de développement homologues** chez différents organismes sera l'occasion de découvrir les similitudes et de replacer ces constats dans une optique évolutive : on aura ici besoin de manipuler la notion d'homologie moléculaire, établie en classe de première à l'occasion de l'étude des parentés entre les primates à partir des pigments visuels.

- La mise en relation des conclusions obtenues à partir de l'étude des mutants pour les gènes de développement et de l'étude mettant en évidence les homologies des gènes de développement sera l'occasion d'amener les élèves à **formuler des hypothèses concernant l'apparition de nouveaux plans d'organisation chez les êtres vivants**.

Remarque : une approche à partir de documents (textes et/ou illustrations) présentant des « monstres » peut s'avérer motivante pour les élèves, et peut également constituer un lien avec l'histoire des arts. A cette occasion, on peut mobiliser leurs représentations initiales sur les mécanismes pouvant expliquer l'apparition de ces monstres en termes scientifiques (mécanismes génétiques qui pourraient être impliqués), et les amener ensuite à découvrir l'existence de « monstres » vivants actuellement pour aborder les notions au programme et découvrir l'importance des gènes de développement et les conséquences des modifications de leur expression, notamment en terme évolutif).

Quelques exemples

- *Modification des gènes hox et disparition des membres chez les serpents (cf ressource sur le [site svt de nantes](#))*
- *Modification des gènes de développement et apparition d'une troisième paire d'ailes chez les membracidés (cf ressource sur le [site svt de nantes](#))*
- *Implication du gène HoxD13 pour la formation de la nageoire chez le poisson et pour la formation du membre antérieur chez les mammifères*

(pour les autres ressources disponibles cf rubrique 2.2)

Aborder la diversification du vivant « sans modification du génome »

Il s'agit ici d'aborder un domaine qui est relativement nouveau pour les élèves (et peut être aussi pour les enseignants) : la transmission de génération en génération de caractères qui ne résultent pas, du moins à l'origine, de l'expression du génome.

Deux domaines sont envisagés ici : le cas des associations (symbioses notamment) et le cas de certains comportements (notamment chez les vertébrés).

Il est possible de **mettre les élèves en activité autour d'études de cas**. Des données variées sont fournies de façon à permettre aux élèves d'argumenter sur le fait que certains caractères soient réellement transmis de génération en génération, bien que leur apparition ne semble pas résulter pas d'un mécanisme de diversification du génome.

- *A propos des symbioses* : il s'agit d'aborder essentiellement des exemples d'endosymbioses, dans l'optique d'étudier la transmission de cette association de génération en génération. D'autre part, on pourra être amené à évoquer les transferts horizontaux de gènes à partir d'exemples simples ; on rapprochera alors cette étude de celle des mécanismes de diversification des génomes abordée précédemment.

- *A propos de la transmission de comportements nouveaux* : il sera utile de préciser ce qu'est un comportement, les interactions qu'il comporte, et son importance dans des phases clés de la vie des êtres vivants (recherche de nourriture, rapprochement des partenaires pour la reproduction).

On peut être amené à évoquer ici la notion « d'empreinte », processus d'apprentissage mis en jeu pendant le développement des jeunes et qui produit une modification durable d'un comportement. Cette empreinte pourrait être héréditaire, bien qu'elle ne soit pas génétique. Si cette notion est abordée, elle doit l'être dans un contexte où la sélection naturelle est abordée, car cette héréditabilité ne se fera que si l'empreinte affecte la valeur sélective.

Certains exemples (concernant notamment la diversification de populations d'oiseaux en fonction du chant) sont des supports intéressants pour travailler la démarche expérimentale, démarche suivie par les chercheurs dans ce domaine (on parle de « démarche éthologique »). En effet, les chercheurs enregistrent les différents chants ou cris, les comparent pour repérer des séquences qui diffèrent selon les populations, font des hypothèses sur l'implication de ces modifications dans la « séparation des populations », puis testent leurs hypothèses en créant des séquences modifiées et en observant leur effet sur les populations naturelles.

Quelques exemples

- *Pour l'endosymbiose* :
 - *La salamandre « chlorophyllienne » - exemple d'endosymbiose (cf ressource sur le [site svt de nantes](#))*
 - *Le ver géant Riftia et des bactéries autotrophiques – exemple d'endosymbiose*
 - *Les mycorhizes*
 - *Les planaires (*Convoluta roscoffensis*) qui hébergent des chlorocelles dans leur mésoderme)*
- *Pour les transferts horizontaux de gènes* :
 - *Les ascidies dont la paroi contient de la cellulose*
 - *L'origine symbiotique des chloroplastes et des mitochondries –*
- *Pour la transmission de comportement à l'origine de la diversification des populations* :
 - *Chants d'oiseaux, notamment chez les oiseaux-chanteurs ou oiseaux oscines (des études ont été réalisées chez la Paruline à sourcils blancs ou encore chez le Diamant mandarin)*
 - *Pouillot véloce*

- *Utilisation d'outils chez certains primates (notion de « culture » chez les chimpanzés par exemple)*
(pour les autres ressources disponibles cf rubrique 2.2)

2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A2

1. Bibliographie

Titre	Références	Commentaire
Évolution moléculaire	P. Luchetta, M.C. Maurel, D. Higué et al. – Collection Sciences Sup – ed. Dunod - 2005	Ouvrage pour la mise à jour des connaissances, pour trouver des exemples supports d'activités, ... Ouvrage qui rassemble les connaissances actuelles dans ce domaine, et notamment les mécanismes moléculaires à l'origine de la création de nouveautés génétiques (duplication, insertion d'éléments transposables, brassage d'exons, épissage alternatif, rôle des pseudogènes et des introns dans l'évolution, ...). Une partie entière est également consacrée à l'étude de la structure et à l'évolution des génomes ainsi qu'à la reconstitution et à la compréhension de l'histoire évolutive des êtres vivants.
Guide critique de l'évolution	G. Lecointre ed. Belin 2009	Dans cet ouvrage très riche, on trouvera en relation avec les mécanismes de diversification du génome une présentation du cas des tournesols américains, ainsi que des souris de Madère
Les origines animales de la culture	D. Lestel Ed. Champs Flammarion	
De la réconciliation chez les Primates	F. de Waal Ed. Champs Flammarion	
Ecologie comportementale	Danchin, Giraldeau, Cezilly Ed. Armand Colin - 2005	
Les avatars du gène	P.H. Gouyon – Ed. Belin - 1997	
Article « la culture des chimpanzés »	Revue Pour la Science - Octobre 2007 – n°57	
Dossier « endosymbioses »	Revue BIOFUTUR – n° 299 • MAI 2009.	

2. Sitographie

A propos de la polyploïdisation

- diaporama « polyploïdisation et évolution des génomes » - ENS/univ Evry - www.ens.univ-evry.fr/.../Polyploidisation_et_evolution_des_genome...

- diaporama « les origines de l'amélioration des plantes » - Univ Montpellier 2 – quelques diapos sur la polyploïdisation, les étapes historiques, l'intérêt, ... - http://www.ens.univ-evry.fr/dokeos/courses/COURS_455/document/Cours/Polyploidisation_et_evolution_des_genomes_polyploidessept09.ppt?cidReq=COURS_455

A propos de l'endosymbiose

- communiqué de presse CNRS : « échange de gènes entre une micro-algue et un virus géant » - Août 2009 - <http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/1648.htm>

- dossier de la station biologique de Roscoff – « relations de couple au soleil : l'endosymbiose cnidaires/Dinoflagellés » - <http://www.sb-roscoff.fr/ETSymbioses2008/pdf/Biofutur/40-44-Furla299.pdf>

A propos des gènes de développement

- site SNV Jussieu – Gènes homéotiques -

<http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/GeneHomeo/genhomeo.html>

- site université de tous les savoirs – conférence vidéo sur le thème « les gènes homéotiques et l'évolution des animaux » -

<http://www.canal->

[u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/les_genes_homeotiques_et_l_evolution_des_animaux.1291](http://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/les_genes_homeotiques_et_l_evolution_des_animaux.1291)

- site de l'Université Pierre et Marie Curie - « développement embryonnaire et gènes sélecteurs »

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/homeotique/index.html>

- site de l'INRP Acces (IFE/ENS)

<http://www.inrp.fr/Access/biotic/develop/controle/accueil.htm>

A propos de la transmission de comportements à l'origine de la diversification du vivant

-

3. Logithèque

- **logiciel ANAGENE** – comparaison de séquences nucléotidiques ou protéiques de gènes homéotiques ou des produits de leur expression -

- **logiciel PHYLOGENE** – arbres de parenté entre des gènes homéotiques -

3. Thème 1A3 – De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité

1. Commentaire général

1. Acquis à mobiliser

Les notions suivantes ont déjà été abordées :

- biodiversité à divers échelles : la biodiversité est notamment décrite comme une diversité d'espèces, et la notion de biodiversité intraspécifique a été abordée et renforcée par l'étude du thème 1A2

- biodiversité à un instant « t » = produit et étape de l'évolution

- mécanismes de l'évolution : mécanismes d'évolution du génome – phénomènes permettant le maintien des nouveautés évolutives : sélection naturelle et dérive génétique

- notion d'espèce
- renouvellement des espèces au cours du temps
- origine commune de tous les êtres vivants
- relations de parenté entre les êtres vivants (phylogénies)
- modifications des milieux de vie au cours du temps (en relation notamment avec la tectonique globale, l'évolution des climats, l'influence de l'homme)

2. Représentations initiales et nouvelles notions à bâtir

L'élève a, à ce stade, une représentation de l'espèce qui est la suivante :

- un ensemble d'individus qui présentent des caractéristiques communes (phénotypiques et caryotypiques)
- un ensemble d'individus qui sont interféconds, et dont les descendants sont féconds également

Il a également l'idée que les espèces se renouvellent au cours des temps géologiques, ce qui signifie qu'une espèce a une durée de vie limitée, qu'elle peut disparaître, et qu'elle est apparue à un moment donné. L'apparition de nouvelles espèces se fait toujours à partir d'espèces préexistantes. **La notion d'espèce a donc été placée dans un contexte dynamique évolutif.**

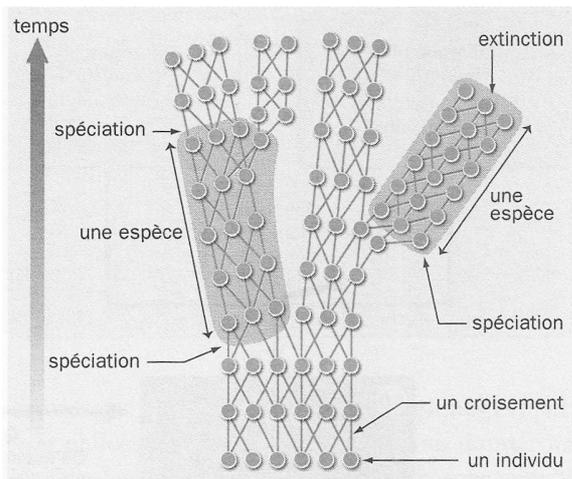
Il s'agit, en classe de terminale, d'amener les élèves à découvrir que le concept d'espèce n'est pas si tranché que cela, et donc de l'amener à remettre en cause ce qui était pour lui une certitude bien établie.

L'enjeu est ici essentiellement de faire comprendre aux élèves que l'on peut faire évoluer ses représentations à la lumière de données nouvelles. Ainsi, la notion d'espèces va évoluer pour devenir « une population d'individus isolés génétiquement des autres populations » (ce qui ne manquera de poser question si on repense aux exemples de diversification du vivant à partir de mécanismes non génétiques ...).

Les études menées seront aussi l'occasion de découvrir quelques modalités de spéciation, celle-ci étant envisagée dans un contexte dynamique, et en considérant l'espèce comme une réalité statistique et collective. Une nouvelle espèce apparaîtra donc lorsque l'on aura un nouvel ensemble qui s'individualise, autrement dit une population qui s'individualise.

On peut citer à ce propos G. Lecointre, professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle : « *dans la nature il n'y a pas d'espèces : il n'apparaît que des barrières de reproduction. Les espèces, c'est nous qui les créons à partir d'un modèle théorique* » (Revue Espèces – n° 1 – septembre 2011).

La représentation ci-dessous est une représentation qui correspond bien à cette vision de l'espèce :



Visualiser la vision théorique de l'espèce

(Guide Critique de l'Évolution – G. Lecointre - Ed. Belin – 2009)

Remarque : il pourra aussi être intéressant de se placer dans un contexte d'histoire des sciences autour de la définition et de l'évolution du concept d'espèce. Une approche épistémologique permet de prendre conscience du fait qu'il y a effectivement plusieurs définitions possibles de l'espèce, en fonction du contexte dans lequel on se place.

3. Quelques pistes pédagogiques

Amener les élèves à faire évoluer leurs représentations initiales ne peut s'envisager que dans un contexte de démarche scientifique rigoureuse. On proposera donc aux élèves des situations de travail où ils auront à mobiliser à la fois leurs connaissances et leurs savoir-faire en terme d'analyse de documents et de raisonnement scientifique.

Il sera intéressant de mettre les élèves en activité autour d'études de cas, en organisant le **travail en ateliers**, tournants ou non.

Les exemples choisis comme support de travail permettront aux élèves :

- de constater une évolution des populations au cours du temps (diversité phénotypique, en relation avec la diversification des génomes)
- d'appréhender les facteurs à l'origine de cette évolution (pression du milieu, concurrence entre les êtres vivants, hasard)
- de discuter des limites de la notion d'espèce (hybrides fertiles)

Quelques exemples

Le tableau ci-dessous donne quelques idées sur des exemples qui pourraient constituer des supports d'étude intéressants avec les élèves :

Exemples	Mécanismes mis en jeu
Moustiques du métro de Londres	mutations – spéciation par isolement géographique – sélection naturelle
Souris de Madère	remaniements chromosomiques (fusions) – spéciation par isolement reproductif et/ou géographique – dérive génétique
Ours blanc/ours brun (hybride : « le pizzly ») (cf ressource sur le site svf de nantes)	Hybrides fertiles

Tigre et lion	
Corneille noire/corneille mantelée	
Pouillots asiatiques	
Pieris napi/Pieris bryoniae	
<i>Tournesols américains</i>	<i>modifications caryotypiques – spéciation par isolement reproductif – hybrides fertiles</i>
Certains insectes Diptères (<i>Culex, Aedes, Drosophila</i>) dont les gamètes sont parasités par des Rickettsies ou par des bactéries du genre <i>Wolbachia</i>	Spéciation par isolement reproductif (les gamètes infectés par les rickettsies ne sont pas « compatibles » avec les gamètes non infectés)
Saumons (<i>Onchorhynchus</i>)	Isolement reproductif écologique
Crapauds du genre <i>Bombina</i>	Isolement reproductif écologique
Drosophiles	Selon les populations : isolement reproductif comportemental, isolement reproductif écologique, isolement reproductif mécanique
Mouche de la pomme (<i>Rhagoletis</i>) (cf ressource sur le site svt de nantes)	Sélection diversifiante
Pouillot verdâtre (<i>Phylloscopus trochiloides</i>)	Anneaux de spéciation (spéciation par isolement géographique) <i>Attention l'interprétation a évolué depuis les premières études publiées, et notamment par rapport à ce qui était enseigné dans d'anciens programmes de Tle)</i>
Goélands de l'hémisphère nord (<i>Larus</i>)	
Géoptizes des Galapagos	
Drépanocidés	
Cyclidés des grands lacs africains	Spéciation – dérive génétique – sélection naturelle
Fauvettes à tête noire	Spéciation – action de l'homme – compétition intraspécifique
Mésanges	Notion d'espèces, définition, limites
Guppy	Sélection naturelle / sélection sexuelle
Tigre/lion	Spéciation prézygotique - Barrière de reproduction = géographie et comportement
Mouton/chèvre (développement de l'embryon stoppé au 1/3)	Spéciation post-zygotique

2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A4

1. Bibliographie

Titre	Références	Commentaire
Guide critique de l'évolution	G. Lecointre Ed. Belin 2009	Les dossiers thématiques de cet ouvrage peuvent s'avérer particulièrement utiles (variation, sélection naturelle, adaptation, spéciation). Des mises au points scientifiques et des études de cas
Le mythe de l'espèce	P. Lherminier Ed. Ellipses	Une réflexion « entre sciences et philosophie » sur le concept d'espèce
L'évolution, des faits aux mécanismes	L. Allano et A. Claemens Ed. Ellipses	De nombreux exemples sur la spéciation, documents à l'appui, dans le chapitre 1 « individus, populations, espèces »
Evolution biologique	M. Ridley Ed De Boeck	Un grand classique, très pointu scientifiquement, et richement documenté
Le vivier de Darwin, un drame sous le lac Victoria	T. Goldschmidt Ed. Seuil – Collection Science Ouverte	Un reportage scientifique sur un séjour de recherche au lac Victoria. Dans cet ouvrage on tente de comprendre comment la vie évolue et dans quelle mesure l'intervention de l'Homme peut rompre l'équilibre d'un écosystème
Invasions biologiques et extinctions	M. Pascal – O. Lorvelec – JD Vigne Ed. Belin - 2006	De très nombreux exemples sur l'évolution de certaines espèces de vertébrés en France
La vie est belle : les surprises de l'évolution	S.J. Gould Ed. Points Science	
Article : « le dialogue des Vervets »	Revue Espèces – n° 2 – décembre 2011	Une étude réalisée chez des vervets (« singes verts ») sur la capacité de ces primates sociaux à localiser leurs congénères à partir de vocalisations échangées
Article : « les espèces, c'est nous qui les faisons »	Revue Espèces n°1 – septembre 2011 G. Lecointre	Une mise au point particulièrement intéressante sur la notion d'espèces

2. Sitographie

A propos du concept d'espèce et de la spéciation :

- un article d'Hervé le Guyader « Doit-on abandonner le concept d'espèce ? » sur le site de l'INRA (<http://www.inra.fr/dpenv/leguyc46.htm>). Tous les points importants du concept sont repris, expliqués, discutés et mis en perspective dans l'approche nouvelle du vivant et de son histoire
- un article de Pascal Tassy sur le site de Museum National d'Histoire Naturelle à propos de la définitions de l'espèce en paléontologie : « L'émergence du concept d'espèce fossile : le mastodonte américain (Proboscidea, Mammalia) entre clarté et confusion » - <http://www.mnhn.fr/publication/geodiv/g02n2a1.pdf>
- dossier « les mécanismes de l'évolution » - G. Lecointre et A. Dettai – site SNV Jussieu - <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/evolution/evol/mecaevol.htm>
- un dossier sur le site de l'université de Berkley sur l'évolution, avec une partie sur la spéciation – des animations humoristiques très intéressantes - http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/evo_01

- un exemple d'activité sur la spéciation en anneau des Salamandres californiennes, avec utilisation de Google Map – http://svt.ac-rouen.fr/biologie/speciation_salamandre/spesalam.html
- un diaporama qui aborde le thème de la sélection sexuelle sur le site de l'université Lille 1 : http://gepv.univ-lille1.fr/downloads/enseignements/L2-S3/L2-S3-EcolGen_Selec_sexuelle.pdf - auteur : M. Amsellem

A propos de biodiversité et d'évolution :

- dossiers SagaSciences du CNRS : biodiversité - <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.html>
- dossier SagaSciences du CNRS : évolution - <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/accueil.html>
- sur le site Planet Terre de l'ENS : « Sélection naturelle, VIH, Pinsons : ce que Darwin ne pouvait pas savoir » - O. Chassaing, F. Campo Paysaa - <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-selection-VIH-pinsons-Darwin.xml#id2713234>

3. Logithèque

- Modélisation de l'évolution des pinsons des Galapagos avec le logiciel Vensim PLE: <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/spip.php?article453>
- Simulation graphique de la dérive génétique et de la sélection naturelle à partir de l'exemple de la phalène du bouleau – programme « Java » permettant de simuler l'évolution des allèles au sein d'une population, en fonction des génotypes choisis et de l'avantage apporté ou non. http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/03312400/0/fiche_ressourcepedagogique/&RH=1160339691609
- Utilisation de Google Earth et de fichiers kmz pour aborder la biodiversité des moustiques. Les informations contenues dans ce dossier permettent d'étudier l'évolution de l'espèce *Culex pipens* au cours du temps <http://svt.ac-montpellier.fr/spip/spip.php?article89>

4. Thème 1A4 – Un regard sur l'évolution de l'Homme

1. Commentaire général

1. Acquis à mobiliser

- Place de l'Homme au sein des Vertébrés et des Primates (arbre de parenté dans lequel l'Homme est placé)
- Principe d'établissement des arbres de parenté à partir de caractères phénotypiques et de caractères moléculaires
- Notion de gènes de développement, et importance des modalités de leur expression (chronologie, lieu)
- Phénotype : résultat de l'expression des gènes et de l'influence de certains facteurs de l'environnement
- Transmission possible de génération en génération de certains caractères comportementaux ou culturels

2. Représentations initiales et nouvelles notions à bâtir

Les élèves ont beaucoup d'idées préconçues sur la place de l'Homme au sein des Primates, et les médias se font régulièrement l'écho de nouvelles découvertes paléontologiques où l'on aurait enfin trouvé « l'ancêtre de l'Homme » ou celui des Primates. Bien qu'ils aient abordé en classe de 3^e la place de l'Homme au sein du monde vivant, et notamment au sein des Primates, des représentations erronées persistent souvent. Il est nécessaire, lorsque l'on aborde cette étude, de mobiliser d'une façon ou d'une autre les représentations des élèves, ne serait-ce parfois que pour faire un premier « tri » et préciser que le travail portera uniquement sur l'aspect scientifique des choses.

Une des manières d'aborder les nouvelles notions à bâtir peut être de les regrouper en deux domaines complémentaires : ce qui relève de la dynamique évolutive au sein du groupe des Primates, et ce qui relève des mécanismes et des phénomènes à l'origine de la diversification Homme/Chimpanzé. Le point suivant développe cette approche, qui n'est pas la seule possible bien évidemment.

3. Quelques pistes pédagogiques

Il s'agit bien ici, comme l'indique le titre du thème 1A4, de porter « **un regard** sur l'évolution de l'Homme ». Il y a une grande diversité de regards possibles, et l'objectif essentiel qui est poursuivi est **d'amener les élèves à développer ici le « regard scientifique »**, à l'identifier clairement et à appréhender le fait que dans ce domaine de l'étude de l'évolution de l'Homme, comme dans d'autres domaines, la « science est en mouvement », que des controverses subsistent (notamment autour de l'arbre phylogénétique du genre Homo), et que chaque nouvelle découverte peut remettre les choses en cause, à condition que l'analyse qui en est faite soit pertinente scientifiquement.

L'une des approches possible est de porter deux « regards scientifiques » sur l'évolution de l'Homme :

- **Un « regard scientifique sur la place de l'Homme dans la dynamique évolutive des Primates » :**
 - Origine des Primates
 - Arbre phylogénétique traduisant les parentés Homme/chimpanzé (avec la notion de DAC), ainsi que les parentés au sein du genre Homo, en relation avec les caractéristiques de ce groupe et la diversification des caractères au sein de ce groupe.
 - Dynamique de l'évolution au sein du groupe des grands Primates et au sein du groupe Homo : apparition, diversification (caractère buissonnant), puis réduction de la diversité
- **Un « regard scientifique sur les mécanismes qui ont pu être à l'origine de la diversification Homme/chimpanzé à partir de leur dernier ancêtre commun »**
 - Acquisition du phénotype humain au cours du développement pré et post natal : interactions entre l'expression de l'information génétique et l'environnement (y compris les relations sociales)
 - Différences génétiques Homme/Chimpanzé en lien avec des différences de position et de chronologie de certains gènes

Un des objectifs principaux de ce thème 1A4 à travers ce travail sur les arbres phylogénétiques est de **développer la réflexion scientifique des élèves, de les mettre en situation de raisonner à partir des connaissances et des savoir-faire qu'ils maîtrisent à ce stade, de s'interroger** et d'appréhender le fait que les résultats obtenus peuvent varier en fonction des caractères pris en compte ou des fossiles considérés, des incertitudes et des controverses demeurant à ce jour et faisant débat parmi les scientifiques.

Plusieurs stratégies pédagogiques sont envisageables, et il conviendra de varier la nature des activités proposées. Ainsi, outre les activités classiques, il pourrait être intéressant dans ce domaine où persistent beaucoup d'idées préconçues, d'afficher certaines de ces idées, et

d'amener les élèves à les confronter aux données scientifiques afin d'argumenter sur leur validité ou non.

Aborder la dynamique évolutive des Primates

- Il s'agit d'appliquer au genre Homo les acquis en matière d'établissement de relations de parenté, puis de faire prendre conscience à l'élève du caractère buissonnant d'un arbre phylogénétique à partir de l'exemple de ce groupe.

Ainsi, on amènera par exemple l'élève à faire évoluer l'arbre très simple construit dans un premier temps pour placer l'Homme au sein des Primates vers un arbre beaucoup plus buissonnant, en greffant sur la « branche » spécifique à l'Homme quelques espèces fossiles du genre Homo, tout cela étant justifié par un raisonnement scientifiquement rigoureux.

Il est important de permettre aux élèves de travailler sur des arbres de parenté avec différentes approches, construction, manipulation, lecture et analyse, de façon à s'assurer qu'ils maîtrisent bien sa signification.

Une activité où l'on a recours à l'utilisation d'un logiciel de traitement de données (exemple : Phylogène) présente l'intérêt particulier de permettre aux élèves de manipuler facilement les arbres, ainsi que pour évoquer la notion de DAC. Il est alors fort intéressant pour la formation scientifique des élèves de leur laisser la possibilité, après une prise en main du logiciel et de ses fonctionnalités, de travailler la démarche d'investigation et de développer leur autonomie.

Il est également très intéressant en terme de formation des élèves de les placer en situation de résolution d'une tâche complexe dans laquelle ils disposent de documents leur permettant d'observer divers caractères d'individus du genre Homo et de Chimpanzés, ainsi que de documents présentant un ou plusieurs arbres de parenté différents où les individus présentés sont placés. L'activité peut alors consister, par exemple, à utiliser les informations apportées par ces documents pour argumenter sur la validité de tel ou tel arbre.

- Une fois découvert le caractère « buissonnant » qu'a pris l'arbre phylogénétique lorsque l'on y a placé les fossiles du genre Homo, un regard plus global peut être porté sur la diversité au sein du groupe des Grand Primates, et surtout sur son évolution au cours du temps. Une comparaison pourra être faite avec d'autres groupes de Primates, comme celui des Cercopithécoïdes, qui eux connaissent une grande diversification actuelle.

Les élèves ne manqueront pas de vouloir poursuivre le débat sur les raisons de l'affaiblissement de la diversité au sein du groupe des grands Primates. Les réponses ne peuvent pas être apportées ici, mais la réflexion pourrait par exemple se prolonger dans le cadre de l'accompagnement personnalisé, en relation avec l'enseignement de philosophie.

Aborder les mécanismes à l'origine de la diversification Homme/chimpanzé à partir de leur DAC

Une approche à partir de données biologiques est particulièrement motivante pour les élèves : séquences vidéos montrant le développement pré et post natal chez l'Homme et le Chimpanzé, photos et/ou textes décrivant quelques étapes de ce développement, ...

On s'intéressera aussi bien aux aspects « physiques » du développement qu'aux aspects comportementaux et sociétaux. Quelques points communs et quelques différences entre ce qui se passe chez l'Homme et ce qui se passe chez le Chimpanzé seront dégagées, ce qui permettra :

- de constater que dans les deux cas le phénotype s'acquiert au cours du développement pré et post natal, sous l'effet de l'interaction entre l'expression de l'information génétique et l'environnement (dont la relation aux autres individus). On pourra saisir l'occasion de proposer aux élèves des documents concernant les apprentissages et la transmission des cultures chez les chimpanzés et les humains.
- de s'interroger sur les mécanismes à l'origine des différences constatées. A ce propos, les acquis du thème 1A2 seront mobilisés (existence de gènes de développement et importance de changement dans leurs modalités d'expression). La néoténie pourra ainsi être abordée. On s'intéressera notamment aux bipédies.

Remarques :

- *il n'est pas attendu ici de connaissances spécifiques sur les gènes de développement humains, sur la néoténie ou les hétérochronies. Les informations et notions nécessaires seront fournies aux élèves, l'objectif poursuivi étant essentiellement de développer le raisonnement scientifique.*
- *Il pourra être formateur pour les élèves de leur proposer une conférence scientifique (en présentiel ou sous forme de conférence vidéo-enregistrée). La confrontation à une telle source d'information peut être l'occasion de développer des compétences spécifiques (prise de note – réalisation d'une synthèse – identification des enjeux - ...)*

2. Quelques ressources pour enseigner le thème 1A4

1. Bibliographie

Titre	Références	Commentaire
Guide critique de l'évolution	G. Lecointre – Ed. Belin - 2009	
Les origines de l'Homme – l'odyssée de l'espèce	P. Picq – Ed. Seuil Points Sciences - 2005	
Article : « l'animal/l'homme »	Revue Espèces n° 2 - décembre 2011	
Article « la bipédie est-elle spécifique à l'Homme ? »	P. Picq Revue « Pour la Science » Dossier n° 57 – Octobre/décembre 2007	
Article « l'apprentissage chez les chimpanzés »	E. Grundmann Revue « La Recherche »	http://www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=8240

2. Sitographie

- vidéo – Université de tous les savoirs – Michel Morange – L'Homme et le Singe - http://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/l_homme_et_le_singe_michel_morange.3800 - Une conférence passionnante où sont évoqués les « gènes candidats » impliqués dans une différence Homme/Chimpanzé
- vidéo « les bipédies » - Pascal Picq - Plate-forme vidéo des sciences et des technologies <http://www.universcience-vod.fr/media/2627/les-bipedies.html>
- animation : Chronologies comparées du développement du crâne du chimpanzé et de l'Homme <http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/svt/cgaulsvt/travaux/evolhomme/> -
- site « le cerveau à tous les niveaux » - site de l'**Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies** – Canada – un dossier sur le développement de nos facultés « de l'embryon à la morale » - <http://lecerveau.mcgill.ca/>

3. Logithèque

- **logiciel Phylogène** (INPR/IFE) et ses bases de données (phénotypiques et moléculaires) sur les Primates et sur le genre Homo

<http://www.inrp.fr/Acces/biotic/evolut/phylogene/accueil.htm>

- **logiciel « Lignée humaine »** - Pierre Perez – Cet outil permet d'appréhender plusieurs aspects des caractères évolutifs liés à la « lignée humaine » et à la place de l'Homme dans le règne animal.

<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/lycee/perez/evolution/ligsomm.htm>

- **animation** pour visualiser la caractèrè buissonnant de l'arbre pour le genre Homo

<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=geo-0016-3>.