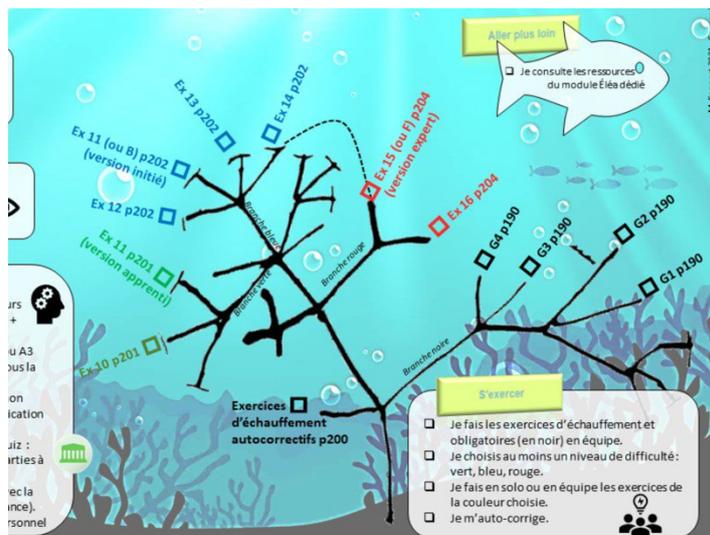


Chapitre 10 : L'évolution, une grille de lecture du monde

Les corrections des exercices sont indiquées dans l'ordre des numéros.

Les **couleurs des pistes** du plan de travail sont figurées avec chaque exercice concerné.

Certains exercices n'ont pas de couleurs, vous pouvez les faire en plus si vous le souhaitez.



Activités (p. 190-193) = « branche noire » = à faire par tous

Activités (p. 190-193)

Groupe 1 : Contraintes de construction et tétou masculin

Présentation des documents (non attendu dans la réponse)

Document 1 : Le tétou chez les humains

Cette photographie montre que hommes et femmes sont pourvus de tétous à l'extrémité du sein.

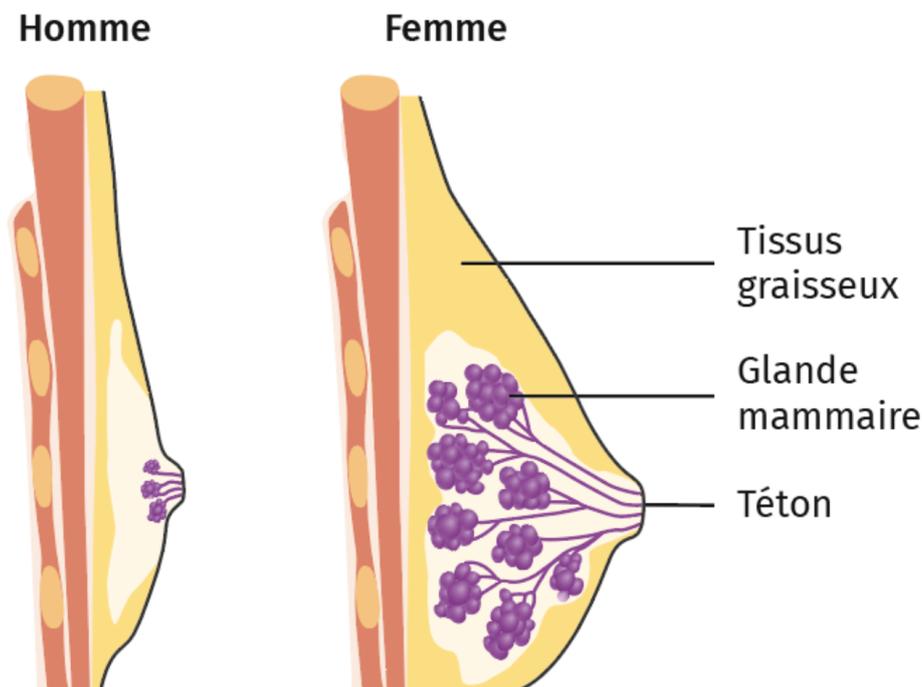
Document 2 : Un développement sous contrôle génétique et hormonal

Le schéma explique comment le tétou se met en place au cours du développement embryonnaire dans les deux sexes. Il permet d'introduire la notion de déterminants génétiques communs et spécifiques.

Document 3 : Fonctions du tétou masculin

Le tétou masculin n'a pas de fonction dans la lactation.

Document numérique supplémentaire : Comparaison de la structure du sein de la femme et de l'homme.



Suggestion de réponses :

1. On observe, grâce à la ressource numérique, que le sein masculin et le sein féminin sont faits des mêmes éléments structuraux : tissus adipeux, muscles, glandes, canaux, lobules, etc. C'est en revanche leur abondance qui diffère nettement : les glandes sont plus développées chez les femmes.

Les déterminants génétiques présents sur ce chromosome X permettent la mise en place du téton à la quatrième semaine de développement. Comme ce sont des déterminants génétiques communs, les deux sexes en sont pourvus : à la naissance, les tétons seront visibles chez les filles chez les garçons. A la puberté, sous l'effet des hormones de types œstrogènes, le sein se développe chez les femmes. Au cours d'une éventuelle grossesse, c'est l'hormone prolactine qui permet la fabrication de lait.

2. Les hommes possèdent aussi un chromosome X, ils ont les déterminants génétiques présents sur ce chromosome qui permettent la mise en place du téton à la quatrième semaine de développement. Il s'agit donc de déterminants génétiques communs, puisqu'on voit que les deux sexes les ont. À la naissance, les tétons des garçons seront donc aussi visibles. La construction du téton des femmes, déterminée par des gènes du chromosome X permet donc aussi la construction de celui des hommes. On parle de contrainte génétique lors du développement. Ce programme génétique est présent et s'exprime chez les deux sexes. Il sera complété par des programmes génétiques spécifiques au sexe.

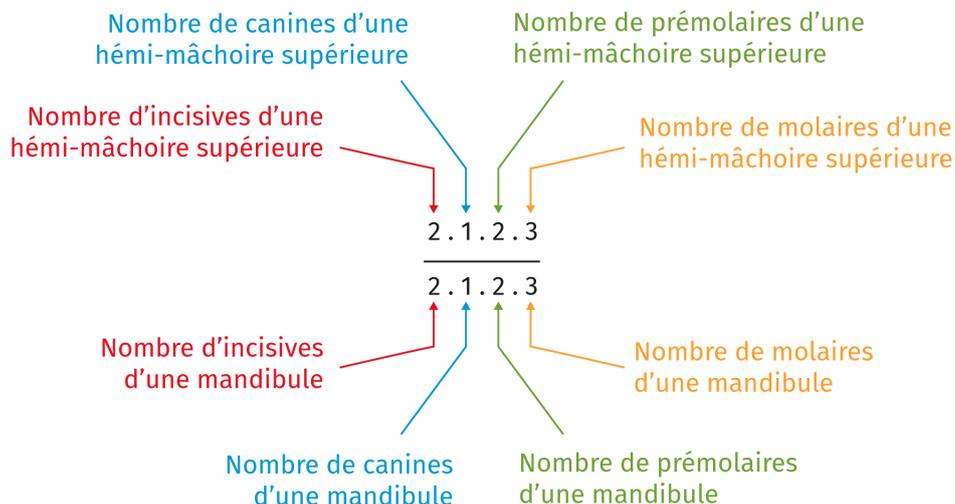
Réponse à la problématique commune : la présence du téton des hommes se comprend par l'expression d'un programme génétique commun qui permet sa mise en place lors des premiers stades du développement embryonnaire, avant la différenciation sexuelle. Le téton masculin ne se comprend qu'à la lumière de cette contrainte de construction au cours du développement embryonnaire humain.

Groupe 2 : Les dents de sagesse, une régression en cours ?

Présentation des documents (non attendu dans la réponse)

Document 4 : Radiographie des dents chez l'être humain adulte, vue de face

Radiographie de la face humaine permettant de comprendre l'implantation dentaire humaine. Les dents de sagesse sont relativement bien positionnées sur la mâchoire supérieure. Avec la légende, les élèves peuvent arriver à la formule dentaire humaine :



Document sous licence libre Creative Commons



Signification de la formule dentaire humaine

Document 5 : Comparaison du développement des dents définitives chez deux primates

Comparaison du développement des dents molaires M_3 entre les humains et les chimpanzés. L'âge de l'éruption de ces dents de sagesse est précisé.

Document 6 : Radiographie d'un patient avant l'extraction de la molaire M_3

La radiographie permet d'illustrer un mauvais positionnement de la dent de sagesse chez un patient, au point d'être en contact avec le nerf mandibulaire et de modifier l'orientation des autres dents. L'extraction est nécessaire pour limiter la douleur et maintenir les autres dents correctement disposées.

Document 7 : Évolution des dents de sagesse

Les données suggèrent que c'est une meilleure prise en charge par la médecine dentaire qui expliquerait les données actuelles présentées sur le document 8. Si cette régression se confirmait, ce caractère anatomique évoluerait par dérive génétique.

Document 8 : Quelques statistiques sur les dents

Les données de ce tableau indiquent une forte proportion de dents de sagesse mal positionnées, des dents de sagesse qui ne poussent pas pour une partie non négligeable de la population, ainsi qu'une diminution manifeste de leur taille au cours des temps. On peut supposer une régression de ces dents de sagesse.

Document numérique supplémentaire : La photographie de la mâchoire supérieure d'un fossile du genre *Homo* montre la même formule dentaire qu'actuellement. Avec le changement d'alimentation de nos ancêtres, l'absence d'usure des dents ne permettrait plus la place pour trois molaires, d'où le mauvais positionnement des dents de sagesse constaté. Les données sur l'évolution des dents et de la mâchoire sont cependant en nombre trop limité pour valider cette hypothèse.

Suggestion de réponses :

1. Le document 4 montre que les quatre molaires M_3 sont les dents situées les plus en arrière de la mâchoire. On voit sur le document 5 que leur développement débute bien après celui des autres dents chez les humains. Leur éruption se fait vers une vingtaine d'années. Elles portent donc bien leur nom de « dents de sagesse ». En revanche, chez le chimpanzé, qui a la même formule dentaire que les humains, le développement des M_3 se fait à peu près de la même manière que les autres dents (très comparable au développement des canines par exemple).
2. Les documents 6 et 7 donnent des exemples de mauvais positionnement des dents de sagesse et montrent que, pour une forte proportion de la population, ces dents ne poussent jamais (proportion bien supérieure à celle des autres dents). Il semblerait qu'on assiste à une évolution en cours d'un caractère anatomique : une régression d'un organe (ou de sa fonction), comme le proposait déjà Darwin au sujet de ces mêmes dents de sagesse.
3. Une absence de troisième molaire ne change pas le succès reproducteur des individus. Ainsi,

l'évolution de ce caractère « présence de dents de sagesse » se fait par dérive génétique. Des mutations qui touchent ce caractère ne sont pas fortement contre-sélectionnées.

Le document 8 propose une comparaison entre la taille des dents entre *H. sapiens* actuel et *H. georgicus* fossile : les hommes actuels ont des dents plus petites. Ceci laisse à penser qu'avec le changement d'alimentation d'*H. sapiens*, lié à la sédentarisation et la cuisson des aliments, l'usure des dents est moindre. Il n'y aurait donc plus de place pour trois molaires, d'où les difficultés de croissance constatées au niveau de la mâchoire. Comme le précise le document 7, les données sur l'évolution des dents et de la mâchoire sont cependant en nombre insuffisant pour valider cette hypothèse.

Réponse à la problématique commune : les dents de sagesse évoluent certainement par **dérive génétique.**

Groupe 3 : Formation de la crosse aortique et histoire évolutive des vertébrés

Présentation des documents (non attendu dans la réponse)

Document 9 : Organisation des arcs branchiaux chez le sandre

Ce document présente les arcs branchiaux du sandre, arcs liés à la respiration branchiale. Un arc branchial est légendé : il est formé d'une branche du nerf vague, d'une branchie et d'une artère branchiale.

Document 10 : Embryon de vertébré

Un embryon de vertébré à respiration aérienne a des arcs branchiaux visibles au cours du développement. Ils apparaissent comme des petits bourrelets juste sous la tête. Une partie de l'histoire évolutive des vertébrés peut donc se lire au cours de l'embryogenèse.

Document 11 : Devenir du 6^e arc branchial au cours du développement

Ce schéma permet de voir que les arcs branchiaux assurent l'irrigation sanguine et le maintien des branchies du requin. Sa forme d'un arc aortique est courbe. Comme il y a persistance des arcs branchiaux au cours du développement embryonnaire des humains, le sixième arc branchial apparaît. Il intervient ensuite dans la mise en place de la crosse aortique. La forme courbe de la crosse aortique ne se comprend donc qu'à la lumière de l'embryogenèse et de la phylogénèse.

Suggestion de réponses :

1. Le requin a des arcs branchiaux permettant la respiration branchiale. Chez d'autres vertébrés à respiration pulmonaire, comme la souris ou les humains, ces arcs branchiaux ne sont visibles que lors du développement embryonnaire (doc. 10) et sont recrutés pour d'autres fonctions ou disparaissent. Il semble donc que le caractère « présence d'arc branchiaux » soit un caractère ancestral partagé par tous les vertébrés : leur ancêtre commun en possédait vraisemblablement.

2. Le schéma du document 11 indique que le quatrième arc branchial permet l'irrigation sanguine et le port d'une des branchies chez le requin. Chez les humains, la crosse aortique fait une boucle : elle remonte selon l'axe antérieur du corps, puis fait un détour en descendant irriguer les organes de la partie postérieure du corps.

Au cours du développement embryonnaire des humains, le quatrième arc aortique apparaît, mais il est utilisé pour la mise en place de la crosse aortique. La forme courbe de la crosse aortique humaine ne se comprend donc qu'à la lumière de l'embryogenèse et de la phylogenèse des vertébrés. Ils partagent une histoire évolutive commune, dont les traces sont visibles dans la forme et le trajet de la crosse aortique par exemple.

Réponse à la problématique commune : le trajet de la crosse aortique se comprend en étudiant l'histoire évolutive commune des vertébrés, ayant des conséquences sur le développement embryonnaire. Dérivée du quatrième arc aortique, courbé comme tous les arcs, la crosse a une forme caractéristique qui fait un détour surprenant. Ce détour ne se comprend qu'à la lumière de cette **contrainte historique stabilisée du développement embryonnaire humain.**

Groupe 4 : Les difficultés obstétriques, un exemple de compromis sélectif

Présentation des documents (non attendu dans la réponse)

Document 12 : Capacité crânienne humaine et de différentes espèces fossiles d'hominidés

Ce graphique permet de voir la capacité crânienne chez différentes espèces du groupe des hominidés. Il permet d'établir une tendance générale : l'augmentation de la taille du crâne au cours des temps.

Document 13 : Caractéristiques du bassin et locomotion chez deux primates

Le document fait un lien entre les caractéristiques du bassin et le mode de locomotion, en comparant un chimpanzé et un humain.

Document 14 : Un conflit sélectif qui s'exprime par des difficultés obstétriques

Les étapes de l'accouchement pour trois espèces de primates sont montrées. Les particularités du bassin et de l'accouchement sont reliées au type de locomotion.

Suggestion de réponses :

1. Le graphique du document 12 permet d'établir une tendance : l'augmentation de la taille du crâne au cours du temps. *Homo sapiens* a le crâne le plus volumineux : entre 1 400 et 1 550 cm³, d'après les données des 66 crânes étudiés.

Aussi, on observe sur le document 13 que le bassin humain est court selon l'axe antéro-postérieur, mais large selon l'axe droite-gauche. Le canal d'accouchement est étroit (doc. 14) : il peut ainsi soutenir des organes à la station debout.

En revanche, celui du chimpanzé est très haut selon l'axe antéro-postérieur et bien plus fin selon l'axe droite-gauche.

D'autres évolutions du squelette sont observables sur les documents, et notamment en lien avec la bipédie : orientation des fémurs (doc. 13), tailles relatives des membres différentes (doc. 14), position de la jambe (doc. 13), caractéristiques de la colonne vertébrale (doc. 13), etc.

2. Une première pression de sélection s'exerce sur le bassin en relation avec la bipédie. Des traits facilitant la station debout sont avantageux et donc sélectionnés, comme son caractère « bassin court et large ». On voit que les espèces bipèdes ou partiellement bipèdes ont un bassin court : le sacrum s'insère profondément dans les ailes du bassin. En d'autres termes, le canal d'accouchement est bien plus étroit.

Un deuxième niveau de sélection s'exerce sur le bassin en lien avec l'accouchement : le canal d'accouchement doit être suffisamment large pour permettre le passage du bébé, et notamment sa tête.

3. On voit donc **deux pressions de sélection opposées qui s'exercent sur le bassin** :

- une première qui tend à favoriser les individus avec un bassin court et large, ainsi qu'un canal d'accouchement étroit : autant d'adaptations à la bipédie.
- une seconde qui tend au contraire à favoriser les individus avec un canal d'accouchement plus large : les accouchements sont plus faciles, y compris pour les bébés aux crânes volumineux.

Il existe donc deux forces opposées qui s'exercent sur le bassin : on parle de **compromis sélectif**.

Réponse à la problématique commune : il existe un point d'équilibre dans l'évolution du bassin. Les difficultés obstétriques sont une conséquence de l'adaptation des humains à la station debout. Elles sont la résultante de pressions de sélection opposées qui s'exercent sur ce bassin.

Zone d'échauffement (p. 200)

1. L'œil humain est un organe :

b. qui permet la capture de lumière.

2. L'évolution de l'œil humain :

c. s'est faite par étapes successives.

3. Cet œil de serpent :

a. a un iris.

4. Le trajet de la crosse aortique s'explique par :

b. des contraintes historiques/phylogénétiques.

5. Le téton masculin :

a. se développe comme celui de la femme jusqu'à la septième semaine chez le fœtus.

6. Pour limiter le nombre de ravageurs de cultures résistants aux pesticides :

a. il faut diminuer l'utilisation de pesticides.

7. D'après le document, la résistance de la bactérie aux antibiotiques :

b. pourrait être contournée grâce à un virus.

8. L'utilisation massive d'antibiotiques :

c. présente un risque sanitaire majeur.

9. Justifier l'expression du biologiste Andrew Simons : « si les hommes ont des tétons, c'est parce que les femmes en ont ».

À la naissance, le garçon et la fille sont pourvus de tétons mis en place vers la quatrième semaine de développement, grâce à certains gènes : il s'agit de déterminants génétiques présents sur le chromosome X, seul chromosome sexuel que possèdent les femmes. Ainsi, c'est à partir de ce programme génétique commun aux deux sexes que les tétons se mettent en place.

À la puberté, l'augmentation du taux d'œstrogènes chez la femme permet le développement des seins. Chez les hommes, l'augmentation du taux de testostérone empêche ce développement, mais les tétons sont construits et conservés. Si les hommes ont des tétons, c'est donc qu'ils ont les mêmes gènes que les femmes permettant le développement de cette structure anatomique.

L'atelier des apprentis (p. 201)

10. L'évolution des yeux chez les kiwis

Compétence principalement travaillée : Expliquer l'origine d'une structure anatomique (exemple de l'œil)

1. La photographie de l'œil sans lésion (a) représente le témoin. Les yeux des kiwis présentés sur les autres clichés (b à h) sont d'aspects très variables. Par comparaison au témoin, de nombreux kiwis ont des yeux blanchis, signes de lésions oculaires. On peut aussi observer que certains sont particulièrement petits (un demi-centimètre de hauteur contre plus d'un centimètre pour l'œil témoin). Les scientifiques ont donc relevé de très nombreuses lésions oculaires dans la population des kiwis.

2. Les photographies montrent au moins quatre animaux touchés par l'opacification. Le texte précise aussi que les scientifiques ont mis en évidence une baisse de leur vue au cours du temps. On en déduit donc que les kiwis sont très affectés par cette opacification.

3. Le document nous apprend que les yeux blanchâtres traduisent une opacification. La qualité de la vision est donc réduite chez ces individus. L'œil est présent, mais peu fonctionnel. Les nombreuses lésions oculaires actuellement observées traduisent donc des yeux en régression.

4. On note que les animaux qui ont ces lésions sont en très bonne santé : leur succès reproducteur n'est pas modifié malgré ces lésions. Vivant dans les sous-bois, les autres organes du kiwi lui permettent d'assurer toutes ses fonctions biologiques.

Il s'agit peut-être d'un cas de dérive génétique provoquant la perte d'un organe ou de sa fonction. Des mutations qui touchent la vision du kiwi ne sont pas fortement contre-sélectionnées.

Remarque : Il a été mis en évidence que le gène homéotique Shh (*Sonic Hedgehog*) a subi des mutations entraînant des améliorations du toucher et de l'odorat, mais en même temps des altérations des yeux.

Suggestion de questions supplémentaires :

5. Quelles parties des yeux pourraient être concernées par l'opacification ?

La cornée pourrait s'opacifier chez ces animaux.

6. Comment expliquer que les lésions des yeux constatées n'aient pas d'incidence sur la survie des kiwis ?

Le texte précise que les kiwis sont des animaux de sous-bois, actifs essentiellement de nuit. Ils utilisent principalement les autres sens pour chercher des proies, se déplacer ou échapper aux prédateurs. Des mutations qui touchent la vision du kiwi ne sont donc pas fortement contre-sélectionnées.

11. Utiliser des microorganismes pour produire des médicaments

Compétence principalement travaillée : Mobiliser des concepts évolutionnistes en médecine

D'après le document 2, les microbes produisent naturellement des molécules pour freiner la croissance d'autres microorganismes : ce sont des antibiotiques constitutivement fabriqués par les microorganismes. Ces molécules peuvent être toxiques pour d'autres cellules, elles limitent la multiplication des autres microorganismes qui sont en compétition pour l'accès aux ressources. Les microorganismes du sol peuvent donc présenter des menaces en raison des molécules toxiques qu'elles fabriquent, pouvant par exemple causer des maladies.

Ce monde microbien du sol peut aussi constituer des opportunités pour les humains, et notamment dans la recherche de nouveaux médicaments. Parmi les 23 000 composés actifs déjà produits par ou grâce aux microorganismes depuis les années 40, de nombreuses molécules aident les humains à combattre des bactéries pathogènes. Le document 1 montre des bactéries du sol notamment, très méconnues et peu utilisées en laboratoire encore. Elles pourraient permettre de repérer de nouvelles molécules, donc potentiellement de nouveaux médicaments. Les antibiotiques naturellement fabriqués par les microorganismes peuvent être à l'origine de la mise au point de nouvelles classes d'antibiotiques, de manière par exemple à contourner des multirésistances bactériennes actuellement observées.

11. Utiliser des microorganismes pour produire des médicaments

Correction de l'exercice décliné en version initié :

Compétence principalement travaillée : Mobiliser des concepts évolutionnistes en médecine.

Expliquer comment une bactérie qui fabrique un antibiotique peut être avantagée dans un environnement donné.

Le document nous apprend que « les microbes produisent naturellement ces molécules pour freiner la croissance d'autres microorganismes ».

L'apparition d'une mutation permettant la fabrication d'une molécule antibiotique vis-à-vis d'autres microorganismes vivant à proximité pourrait constituer un avantage dans un environnement donné. En effet, les organismes sont en compétition pour l'accès aux ressources du milieu : eau, nutriments, etc. Les organismes les plus aptes à exploiter ces ressources vont mieux survivre et ainsi se répandre, en transmettant leurs caractères à leur descendance. On comprend donc que la fabrication d'un antibiotique par une bactérie puisse être sélectionnée : elle augmente son succès reproducteur. C'est le principe de la sélection naturelle comme force évolutive.

Le repaire des initiés (p. 202-203)

12. L'élaboration de nouveaux pesticides

Compétence principalement travaillée : Mobiliser des concepts évolutionnistes en agronomie

1. Le document 2 montre que plus le nombre de générations d'insectes par année est important pour une espèce donnée, plus l'apparition de la résistance à un pesticide est rapide. On en déduit que la fabrication d'un nouvel insecticide ne sera intéressante que pour des espèces avec un petit nombre de générations par an, au risque pour l'insecticide d'être rapidement inefficace. Par exemple, un insecticide développé pour lutter contre le ravageur *Melanotus tamsuyensis* pourrait être efficace de nombreuses années.

2. Comme les insectes se reproduisent vite, des mutants peuvent émerger rapidement dans une population, d'autant plus vite que le temps de génération est petit. L'utilisation massive de pesticides exerce une pression forte sur les populations de ravageurs. Seuls les résistants vont survivre, ils sont avantagés dans cet environnement : ils vont ainsi se reproduire et le caractère « résistance » va se répandre rapidement dans la population.

3. L'utilisation de pesticides exerce une pression forte sur les populations de ravageurs : des variants résistants à un nouveau pesticide se multiplient rapidement. Le pesticide en question est rapidement inefficace pour protéger la culture. Il y a alors nécessité d'utiliser un autre pesticide, qui lui aussi ne sera efficace que dans un temps limité. On en déduit que la lutte chimique par les pesticides en agriculture intensive est une course contre la montre : l'évolution rapide des insectes met constamment cette pratique en échec.

Suggestion de questions supplémentaires :

4. **Donner le nombre de générations par an de l'insecte *Aphis sp.***

Le nombre de générations de l'insecte *Aphis sp.* est d'environ 2 générations par an.

5. **Expliquer pourquoi la lutte chimique contre ce ravageur n'est pas conseillée.**

Comme ces insectes se reproduisent très vite, des mutants peuvent vite émerger dans une population. Ainsi très rapidement, on peut prévoir qu'un nouveau pesticide mis au point pour lutter contre *Aphis sp.* sera inefficace.

13. Les yeux de l'anableps

Compétence principalement travaillée : Expliquer l'origine d'une structure anatomique (exemple de l'œil)

Correction :

1. L'anableps a deux rétines, deux pupilles (l'une utilisée par les rayons qui proviennent du milieu aérien, l'autre par ceux provenant du milieu aquatique). Les deux types de rayons traversent un seul et unique cristallin.

2. Du fait de ses deux pupilles, l'anableps semble avoir chacun des yeux séparé en deux. Ainsi, cette organisation particulière donne l'impression que l'anableps a quatre yeux.

3. Chez un ancêtre de l'anableps, l'apparition d'un variant pourvu par exemple du caractère « formation de deux rétines par œil » a pu présenter un avantage dans un environnement à l'interface eau/air. Un tel variant permet de chasser des insectes à la surface de l'eau, tout en pouvant échapper à ses prédateurs dans l'eau. Ce caractère conférant une meilleure survie, l'animal s'est plus reproduit que d'autres. Étant héritable, la « formation de deux rétines par œil » s'est répandue dans la population.

La sélection naturelle peut expliquer l'adaptation de l'anatomie de l'anableps à son milieu de vie à l'interface eau/air. Ainsi, la sélection tend à une meilleure adaptation de l'anableps à cet environnement, même si l'évolution de son anatomie est aussi liée au hasard et aux contraintes biologiques.

14. Difficultés obstétriques et évolution humaine : un compromis sélectif

Compétence principalement travaillée : Interpréter des caractéristiques anatomiques humaines

1. Chez d'autres primates que les humains, le bébé naît le visage tourné vers les os pubiens de la mère. Ce n'est pas le cas chez les humains. Le document montre que l'apparition d'une courbure au niveau du bassin de la femme s'est accompagnée d'une modification des modalités de l'accouchement. La courbure du bassin impose en effet une rotation de la tête du bébé au cours de l'accouchement, favorisant le passage à travers le canal d'accouchement. Du fait de la rotation à 180°, le bébé humain naît le visage tourné vers la colonne vertébrale de la mère.

2. Le document nous apprend que la taille du cerveau et de la tête a augmenté chez les humains. On voit également à travers cet exemple que le bassin a évolué en lien avec la bipédie humaine. L'évolution du bassin humain résulte donc d'une multitude de pressions évolutives :

- pression de sélection en lien avec la bipédie : pour soutenir les organes, le canal d'accouchement doit être petit et rigide ;
- pression de sélection en lien avec l'accouchement d'un bébé avec une grosse tête : le diamètre du détroit du bassin doit être important, le bassin plutôt souple. La légende du schéma précise d'ailleurs que « la tête passe tout juste et frotte contre le bassin ».

C'est la raison pour laquelle on parle de compromis sélectif. L'évolution de l'anatomie humaine est donc fonction de plusieurs forces, parfois contradictoires.

La rotation de la tête du bébé pendant l'accouchement est une réponse à ces pressions de sélection, mais il en fait un accouchement délicat. L'assistance à l'accouchement grâce à une tierce personne est observable dans de nombreuses sociétés : elle permet sans doute de pallier les difficultés obstétriques.

15. Régulation des ravageurs des cultures grâce à la lutte biologique

Compétence principalement travaillée : Mobiliser des concepts évolutionnistes en agronomie

1. Les trichogrammes sont des parasitoïdes : ils pondent des œufs dans le corps des pyrales, et ces dernières sont consommées. La quantité de ravageurs des cultures est donc maintenue à un niveau

acceptable. Les dégâts causés sur les cultures sont donc moindres : cet exemple tiré de l'infographie illustre le principe général de la lutte biologique.

2. On rappelle que la lutte chimique contre des ravageurs de cultures passe par l'utilisation de produits de synthèse : les insecticides. Ils visent à lutter contre les ravageurs en ayant une action toxique. L'utilisation de pesticides a des conséquences sur l'environnement et sur la santé. La lutte biologique est spécifique au ravageur. Elle consiste à rétablir un écosystème autour du ravageur, notamment via l'utilisation de prédateurs ou de pathogènes naturels du ravageur. Son but n'est pas l'éradication du ravageur, mais son maintien à un niveau acceptable. Aucune incidence sur la santé ou sur l'environnement n'est à noter.

Suggestions de question supplémentaires :

3. **Donner un exemple de lutte biologique : pays, date, espèce auxiliaire aidant à combattre le ravageur.**

Actuellement, on utilise l'espèce *Trichogramma brassicae* pour lutter contre la pyrale du maïs qui endommage les cultures. Les trichogrammes représentent l'espèce auxiliaire : ce sont des parasitoïdes (parasite qui a la particularité de tuer son hôte) de la pyrale.

15. Régulation des ravageurs des cultures grâce à la lutte biologique

Correction de l'exercice décliné en version expert :

Compétence principalement travaillée : Mobiliser des concepts évolutionnistes en agronomie

Document 2 : La lutte biologique contre la cochenille du manioc

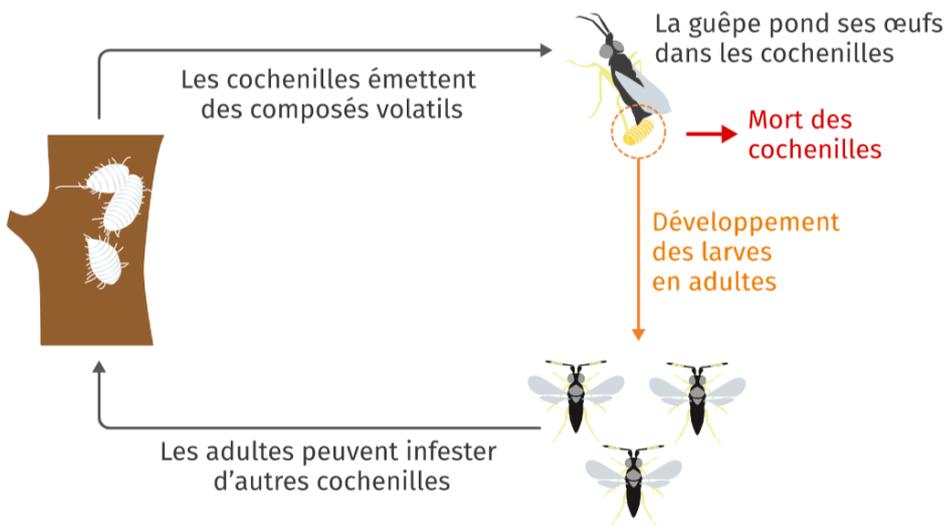
La cochenille a été introduite en Thaïlande en 2008, et cause des ravages : six millions de tonnes de manioc, soit 600 millions de dollars perdus en 2010. Les insecticides, en plus d'être toxiques, ont un effet limité. Un lâcher de guêpes parasites entre 2010 et 2011 a permis de réduire la superficie de cultures infestées de 166 700 hectares en mai 2009 à 10 880 hectares en octobre 2013.

Document 3 : Photographie d'une guêpe parasite sur une cochenille



La guêpe s'apprête à pondre ses œufs dans la cochenille. Elle enfonce un organe de ponte à l'intérieur du corps de l'insecte et y dépose des œufs.

Document 4 : Cycle naturel de la guêpe parasite *Anagyrus lopezi*



Elle n'est dangereuse ni pour les humains ni pour les autres animaux.

À l'aide des documents, expliquer pourquoi la lutte biologique est une alternative crédible à l'utilisation de produits phytosanitaires.

La lutte chimique contre des ravageurs des cultures passe par l'utilisation de produits de synthèse : les insecticides. En quoi la lutte biologique est une alternative crédible à l'utilisation de produits phytosanitaires ?

La lutte chimique est répandue en agriculture conventionnelle et très utilisée en agriculture intensive. Elle vise à lutter contre les ravageurs en ayant une action toxique sur eux. Le **document 2** montre que, pour lutter contre la cochenille du manioc, les Thaïlandais ont utilisé des insecticides, qui sont par définition toxiques : ils ont des effets néfastes sur les organismes et sur l'environnement. Ils favorisent la prolifération de ravageurs résistants aux insecticides. Les questions environnementales et sanitaires que posent ces résistants incitent la recherche d'alternatives.

Les dégâts causés par les ravageurs s'évaluent en milliards d'euros de pertes chaque année dans le monde. En ce qui concerne la cochenille du manioc, le **document 2** indique des pertes de 600 millions de dollars uniquement pour l'année 2010. Les alternatives proposées doivent donc être efficaces.

En Égypte, le chat est utilisé depuis -2 000 av. J.-C. pour lutter contre le rat, ce dernier consommant une partie des récoltes. Les humains ont domestiqué le chat, grand prédateur de rongeurs. Le nombre des ravageurs de cultures est donc maintenu à un niveau acceptable. Les dégâts causés par les ravageurs sur les cultures sont ainsi moindres : c'est le principe de la lutte biologique.

La lutte biologique est donc spécifique au ravageur. Elle consiste à rétablir un écosystème autour du ravageur, ici grâce à l'utilisation de prédateurs. Son but n'est pas l'éradication du ravageur, mais son maintien à un niveau acceptable. Aucune autre incidence sur la santé ou sur l'environnement n'est à déplorer.

Le **document 3** présente une photographie d'une guêpe en train de pondre des œufs dans le corps d'une cochenille. Le cycle de développement de la guêpe présenté sur le document 3 montre que ces œufs vont éclore dans la cochenille et la dévorer, induisant sa mort. Le cycle biologique de la guêpe passe donc obligatoirement par un hôte : la guêpe est un parasitoïde. La quantité des ravageurs de cultures sera donc diminuée et, comme pour l'exemple précédent, les dégâts sont limités. Les chiffres indiqués sur le **document 2** montrent une nette diminution de la surface des cultures infestées. Cette méthode est donc efficace.

Ces différents exemples permettent de montrer que la lutte biologique est utilisée pour limiter le nombre de ravageurs des cultures. Elle s'inspire des mécanismes de régulation qui existent dans les écosystèmes : la prédation ou le parasitisme. Elle est efficace, ne montre pas de danger sanitaires ou environnementaux et elle est pratiquée dans de nombreuses sociétés depuis longtemps. Elle constitue donc une alternative crédible à l'utilisation des pesticides de synthèse.

Le coin des experts (p. 204)

16. Le parcours surprenant du nerf laryngé récurrent chez les mammifères

Compétence principalement travaillée : Interpréter des caractéristiques anatomiques humaines

Correction :

1. Chez les poissons, on voit que la quatrième branche du nerf vague a la même orientation que celle des autres branches de ce nerf, à savoir partir du côté dorsal de l'animal pour rejoindre le côté ventral.

Chez les mammifères, on apprend que la quatrième branche du nerf vague devient le nerf laryngé récurrent. On voit que ce dernier fait un détour surprenant par le ligament artériel (vestige de la sixième artère branchiale), puis rejoint la partie antérieure du corps.

2. Comme la girafe a un cou très long qui mesure plusieurs mètres, cela implique que le nerf laryngé récurrent soit lui aussi très grand. En tenant compte du détour fait par le ligament artériel, on comprend qu'il fasse plus de 4,6 mètres de longueur.

L'évolution du nerf laryngé de la girafe est donc la résultante :

- d'un allongement de ce nerf lié à l'allongement du cou en lien avec la sélection naturelle ;
- du détour opéré par le nerf. Historiquement, cette branche est constitutive d'un arc branchial. Actuellement, la mise en place du nerf laryngé au cours du développement embryonnaire se fait toujours à partir de cette branche du nerf vague.

Des contraintes historiques expliquent donc la taille surprenante du nerf laryngé. L'anatomie n'est donc pas parfaite, l'évolution ne va pas toujours dans le sens de l'adaptation, elle se fait parfois même de manière contre-intuitive : ce détour ne se comprend qu'à travers l'histoire de l'évolution des vertébrés. Il s'agit d'une histoire évolutive complexe et sans plan préétabli.

17. L'introduction du VIH en Afrique par des vaccins ?

Compétence principalement travaillée : Mobiliser des concepts évolutionnistes en médecine

Correction :

L'arbre phylogénétique de différentes souches de virus collectées par les chercheurs entre 1980 et 2000 montre qu'elles ont toutes un ancêtre commun, représenté par le point rouge sur le document. On peut par exemple noter plus de 0, 15 mutations par site entre l'ancêtre commun et certaines souches collectées. Ainsi, à partir de cet ancêtre commun, les différentes souches ont accumulé des mutations au cours du temps. Leurs séquences génétiques ont progressivement divergé et leur distance génétique a augmenté petit à petit. Certaines ont pu être bénéfiques, leur permettant par exemple de contourner le système immunitaire de leur hôte. Ces souches de VIH ont ainsi évolué par mutation, sélection naturelle et dérive génétique au cours du temps.

À partir de la séquence génétique des différentes souches de virus collectées (points verts) et de l'âge de leur collecte, les chercheurs ont pu construire une droite représentant la distance génétique

en fonction du temps. La pente de cette droite donne donc un taux de mutation : c'est le principe de l'horloge moléculaire. L'endroit où la droite croise l'axe des abscisses représente l'âge de l'ancêtre commun à toutes les souches virales, datant des années 1930 environ, soit bien avant la campagne de vaccination faite dans les années 1950 (contre la poliomyélite). Les scientifiques ont donc pu démontrer que l'apparition du SIDA en Afrique est antérieure à la campagne de vaccination. La rumeur évoquée est donc infondée.

Remarques :

On voit qu'il est possible de placer le plus ancien échantillon de VIH trouvé : cette souche virale date de 1959. Cet échantillon se trouve parfaitement aligné sur la droite de régression linéaire (obtenue par la méthode des moindres carrés).

L'arbre phylogénétique permet aux élèves de visualiser l'évolution des différentes souches virales depuis leur ancêtre commun, et ainsi de mieux comprendre les deux autres documents. Par ailleurs, les droites de régression affichées sur la publication scientifique sont construites à partir de nuages de points. Le choix du zoom réalisé entre 1980 et 2000 facilite la compréhension de leur construction par les scientifiques. Le document est l'occasion de travailler avec les élèves les notions d'incertitude.

Correction de l'exercice décliné en version initié :

Compétence principalement travaillée : Mobiliser des concepts évolutionnistes en médecine

1. Montrer que le VIH évolue au cours du temps, puis expliquer les mécanismes impliqués dans cette évolution.

On voit sur l'arbre phylogénétique des différentes souches du VIH récoltées par les scientifiques qu'elles ont accumulé des mutations par rapport à leur ancêtre commun. Les virus ont donc accumulé des mutations génétiques : certaines ont pu être avantageuses, leur permettant par exemple de contourner le système immunitaire de leur hôte. Ainsi, ces virus ont pu évoluer par sélection naturelle au cours du temps. D'autres mutations n'ont peut-être apporté ni avantage, ni inconvénient : les virus ont donc pu évoluer par dérive génétique également.

2. Grâce à la méthode de datation établie par les chercheurs, donner l'âge du plus ancien échantillon de VIH trouvé.

Par lecture graphique sur l'axe des abscisses, on voit que l'échantillon de VIH le plus ancien est daté de 1960 environ (1959 exactement).

3. Donner ensuite l'âge de l'ancêtre commun aux virus trouvés entre 1980 et 2000.

Par lecture graphique sur l'axe des abscisses, on voit que l'ancêtre commun à ces virus est daté de 1932, avec une incertitude non négligeable (intervalle possible compris entre 1915 et 1942).

4. Sachant que la campagne de vaccination contre l'autre maladie a eu lieu dans les années 1950, discuter de la rumeur évoquée.

L'endroit où la droite de régression croise l'axe des abscisses représente l'âge de l'ancêtre commun à toutes les souches virales, datant des années 1930 environ, soit bien avant la campagne de vaccination faite dans les années 1950 (contre la poliomyélite). Les scientifiques calculent donc que l'apparition du SIDA en Afrique est antérieure à la campagne de vaccination. La rumeur évoquée est donc infondée.