NOM :
Prénom :
Classe :

Lycée Jeanne d'Arc
Clermont-Ferrand
2024 – 2025

Fascicule de Première Spécialité SVT

Réussir ses apprentissages....2
Vouloir, c'est pouvoir ?....2
Stratégies pour réussir....3
Les évaluations : formats et méthodes....8
Devoirs surveillés....8
Fautes de rédaction fréquentes....9
QCM....10
Travaux pratiques....10
Méthode pour le dessin d'observation....10
Exemple de dessin d'observation en biologie....11
Exemple de dessin d'observation en géologie....12
CHAPITRE I : La transmission et l'origine des caractères....13
Leçon 1 : Les gènes et les caractères....14
Leçon 2 : Les rôles des protéines....15
TP 1 : Les structures des protéines (1 h)....16
Exercices d'application....17
CHAPITRE II : Les enzymes....18
Leçon 3 : Le mode d'action des enzymes....19
Leçon 4 : Les enzymes dans le métabolisme....20
TP 2 : Mise en évidence de la spécificité de substrat (2 h)....21
TP 3 : Un modèle de cinétique enzymatique (1 h)....22
TP 4 : La catalase du navet (2 h)....22
Exercices d'application....23
CHAPITRE III : Les cycles cellulaires chez les eucaryotes....24
Leçon 5 : La réplication de l'ADN....25
Leçon 6 : La mitose....26
Leçon 7 : La méiose....27
TP 5 : Les figures de mitose (2 h)....28
TP 6 : La spermatogenèse chez le criquet (2 h)....28
Exercices d'application....29
Étude de documents 1 : Meselson et Stahl, une expérience historique....30
Étude de documents 2 : La prolifération des levures....31
CHAPITRE IV : Les mécanismes de l'expression génétique....32
Leçon 8 : Les ARNm, des messagers de l'information....33
Leçon 9 : Le code génétique et la traduction....34
TP 7 : La sensibilité à l'amertume du chou (2 h)....35
Exercices d'application....37
Étude de documents 3 : L'expression génétique chez l'acétabulaire....39
CHAPITRE V : Mutations et évolution....40
Leçon 10 : Les mutations et les mutagènes....41
Leçon 11 : Lignées germinales et somatiques, et sélection naturelle....42
Leçon 12 : Génome humain et histoire humaine....43
TP 8 : L'action mutagène des rayonnements UV (3 h)....44
TP 9 : Les Tibétains et le mal chronique des montagnes (1 h 30)....45
Exercices d'application....46
CHAPITRE VI : Le système immunitaire humain....47
Leçon 13 : L'immunité innée....48
Leçon 14 : L'immunité adaptative cellulaire....49
Leçon 15 : L'immunité adaptative humorale....50
Leçon 16 : Les vaccins et l'immunothérapie....51
TP 10 : La spécificité des anticorps (2 h)....52
TP 11 : La simulation d'une épidémie (1 h)....53
Exercices d'application....54
CHAPITRE VII : Les maladies génétiques....55
Leçon 17 : Les maladies monogéniques....56
Leçon 18 : Les maladies héréditaires multifactorielles....57
Leçon 19 : Les cancers....58
TP 12 : La mucoviscidose, du génotype au phénotype (1 h)....59
Exercices d'application....60
Étude de documents 4 : Le diabète de type 2 et ses facteurs de risques....62
Étude de documents 5 : La leucémie myéloïde chronique....63
CHAPITRE VIII : L'humanité et les écosystèmes....65
Leçon 20 : La dynamique des écosystèmes....66
Leçon 21 : Les services écosystémiques....67
TP 13 : Modéliser et préserver les écosystèmes (1 h)....68
CHAPITRE IX : La croute terrestre....69
Leçon 22 : Les reliefs de la croute terrestre....70
Leçon 23 : Le contraste pétrographique océan/continent....71
TP 14 : Les roches de la croute terrestre (2 h)....72
TP 15 : Les minéraux de base (2 h)....72
Exercices d'application....73
Étude de documents 6 : L'hypsométrie terrestre....74
CHAPITRE X : La structure de la lithosphère....75
Leçon 24 : Les séismes et les ondes sismiques....76
Leçon 25 : Les discontinuités superficielles de la Terre....77
Leçon 26 : La mobilité horizontale de la lithosphère....78
TP 16 : La propagation des ondes sismiques (2 h)....79
TP 17 : Les plaques lithosphériques (1 h)....79
Exercices d'application....80
Étude de documents 7 : Le Moho....81
Étude de documents 8 : Sous les continents....82
CHAPITRE XI : La convection mantellique....83
Leçon 27 : Le modèle PREM....84
Leçon 28 : Le moteur de la tectonique des plaques....85
TP 18 : Les indices sismiques de la subduction (1 h)....86
Étude de documents 9 : L'intérieur de la Terre....87
CHAPITRE XII : La formation du domaine océanique....88
Leçon 29 : L'accrétion océanique....89
Leçon 30 : La vitesse d'expansion océanique....90
TP 19 : Le plancher océanique en expansion (1 h)....91
Exercices d'application....92
Étude de documents 10 : La subsidence du plancher océanique....94
CHAPITRE XIII : La formation du domaine continental....95
Leçon 31 : Les métamorphismes des roches océaniques....96
Leçon 32 : Le magmatisme des zones de subduction....97
Leçon 33 : La collision continentale....98
TP 20 : Les faciès métamorphiques (2 h)....99
TP 21 : La tectonique et la pétrologie de collision (2 h)....99

Fascicule conforme aux rectifications orthographiques du français de 1990

Réussir ses apprentissages

Vouloir, c'est pouvoir ?

Le bon état d'esprit

Une personne ayant un **état d'esprit statique** (*fixed mindset*) pense que l'intelligence est à la fois innée et figée. Si on réussit ou si on échoue dans la vie c'est parce qu'on a certains talents, ou pas. Il est donc important d'avoir l'air intelligent à tout prix, car devenir intelligent semble impossible. Si on travaille dur pour réussir quelque chose c'est à cause d'un déficit, puisqu'on n'a pas besoin de travailler dur si on est talentueux… Avec cet état d'esprit on refuse donc de faire des efforts (pour ne pas montrer de faiblesse), on abandonne rapidement dès qu'on n'arrive pas à faire quelque chose (pour protéger son égo), on est incapable de rebondir sur un échec, on ne demande pas d'aide, et on est tenté de tricher. **On ne peut donc pas progresser et réussir avec cet état d'esprit.**

Ce n'est pourtant pas comme cela que fonctionne le cerveau humain. La plasticité neuronale permet à tout le monde d'apprendre, pour peu que l'entrainement soit suffisant en quantité et en qualité. L'intelligence et les compétences peuvent se développer avec l'éducation. Pour les personnes ayant un **état d'esprit dynamique** (*growth mindset*) chaque défi est une occasion d'en apprendre davantage, un échec n'est jamais vu comme définitif mais simplement comme une étape vers une réussite future. Elles ne craignent pas de fournir des efforts car elles savent que les performances sont améliorables. **Ces personnes peuvent progresser car elles ne subissent pas la pression négative de la fausse croyance en une intelligence figée.**

État d'esprit fixe	**État d'esprit de développement**
Désir de paraitre intelligent	***Désir d'apprendre***
Face aux défis	
Les défis sont difficiles et le succès n'est pas garanti. À moins d'être sûr de les réussir, ils cherchent à les éviter.	Les accepter, voire les rechercher parce qu'ils aident à progresser.
Face aux obstacles	
Être sur la défensive et abandonner facilement car les obstacles viennent de forces extérieures, voire malveillantes.	Persister et être combattif. Même un échec est une occasion d'apprendre.
Face aux efforts	
Les considérer comme inutiles ou contreproductifs car vous devez être capable naturellement.	Les considérer comme nécessaires pour progresser vers le savoir.
Face aux critiques	
Les critiques même constructives sont ignorées, voire considérées comme insultantes car elles sont perçues comme des attaques de votre personnalité.	Les critiques sont sources d'information. Les critiques négatives sont perçues comme concernant vos capacités actuelles qui peuvent être améliorées.
Face au succès de tierces personnes	
Il est perçu comme menaçant, le succès des autres étant dû à leur chance plus grande.	Il est perçu comme source d'inspiration et d'information. Le succès de l'un ne se fait pas au détriment de l'autre.

Tendances comportementales selon l'état d'esprit

La formule de la réussite

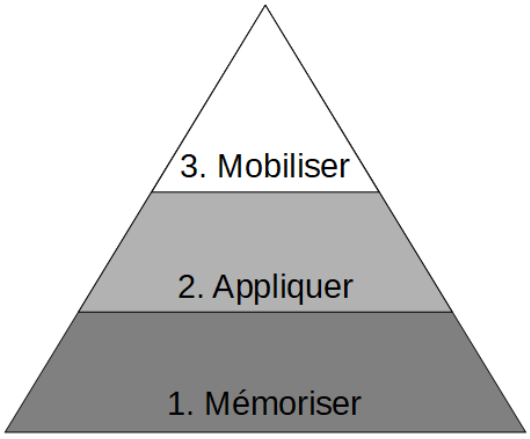
Réussite = Efforts x Stratégie

Cette formule signifie que sans effort il ne peut pas y avoir de réussite car zéro fois n'importe quoi fait toujours zéro. Elle signifie pour la même raison que des efforts énormes concentrés sur une stratégie d'apprentissage absolument nulle aboutit également à un échec. Il y a donc **deux façons d'expliquer un échec** : soit une quantité de travail insuffisante, soit un travail inadapté à la situation d'apprentissage.

Un exemple caricatural serait celui d'un élève qui apprend tous ses cours par cœur (cela réclame en effet beaucoup d'efforts de mémorisation) mais sans jamais chercher à en comprendre la signification. À l'inverse, avoir tout compris sur le moment, mais ne pas avoir cherché à mémoriser par la suite peut mener à un désastre tout aussi grand. Il n'est pas simple de trouver tout seul une bonne stratégie d'apprentissage, c'est pourquoi il faut s'appuyer sur les études scientifiques qui ont évalué objectivement lesquelles fonctionnent et lesquelles ne fonctionnent pas.

La maitrise des connaissances

On ne peut pas dire d'un savoir qu'il est simplement acquis ou non acquis. L'acquisition est un **processus graduel** que l'on peut schématiser en plusieurs étapes successives (voir ci-contre). Il peut être utile d'estimer régulièrement où l'on se situe sur cette échelle pour une connaissance que l'on est en train d'acquérir. Un niveau ne peut être considéré comme atteint que lorsqu'il n'y a plus d'hésitation.



L'acquisition des connaissances

1. Mémorisation des informations : Le cours doit être compris dans ses grandes lignes, les informations factuelles et les définitions importantes sont apprises par cœur.

2. Applications simples des notions : Les détails du cours sont compris, on peut le reformuler facilement. On peut appliquer les principes et les formules du cours pour trouver la bonne réponse à un exercice simple.

3. Analyses et synthèses complexes des connaissances : Le cours peut être expliqué à quelqu'un d'autre de manière fluide. On peut mobiliser divers éléments du cours ou de plusieurs cours différents pour répondre à une question originale. On peut se servir de ses connaissances pour analyser un corpus de documents **sans guidage** pour déduire de nouvelles connaissances.

Stratégies pour réussir

L'hygiène de vie

On n'apprend bien que si notre corps va bien et qu'on a des habitudes quotidiennes qui facilitent les apprentissages. Voici les conseils les plus efficaces :

– Bien dormir : La plupart des adolescents manquent de sommeil et se couchent trop tard le soir. Or le cerveau renforce les apprentissages de la journée pendant la nuit. **Cette activité nocturne est essentielle pour retenir de nouvelles informations et améliorer ses performances.** Ne pas dormir suffisamment rend toutes les séances d'entrainement que vous pouvez faire complètement inefficaces. Le manque de sommeil provoque aussi de l'anxiété pendant la journée, ce qui diminue également l'efficacité des futurs apprentissages. Inutile donc de travailler jusqu'à minuit parce que vous avez un contrôle le lendemain, vous n'apprendrez rien et vous perdrez même tous les bénéfices de vos efforts de la journée précédente et de la journée suivante ! **Allez vous coucher et la prochaine fois planifiez votre travail plus à l'avance pour ne pas être pris au dépourvu.** Éliminez également les tentations de votre chambre qui peuvent vous empêcher de dormir comme les écrans : téléphones, tablettes, ordinateurs, etc. Le soir enfermez ce matériel dans un tiroir, si possible dans une autre pièce. Si vous n'arrivez pas à mettre en place cette organisation tout seuls, **faites-vous aider par vos parents**.

– Bien manger le matin : Le petit déjeuner est important car le cerveau a besoin d'une très grande quantité de sucre pour fonctionner efficacement. Si vous ne mangez pas le matin, comme c'est le cas pour de nombreux élèves, votre cerveau manque d'énergie et n'est pas du tout performant. Les problèmes sont alors plus difficiles à résoudre, les informations sont plus difficiles à retenir, et les apprentissages sont moins efficaces sur le long terme. Évitez les sucres rapides comme les bols de céréales et les viennoiseries, vous aurez faim rapidement après les avoir avalés et vous risquez ensuite de manquer d'énergie. Privilégiez les sucres lents comme le pain traditionnel ou le pain de seigle (mais pas le pain de mie) sans trop de confiture, les fruits (pomme, poire, pamplemousse, orange) plutôt que les jus de fruit, et du fromage blanc sans sucre.

– Raconter sa journée le soir : Raconter sa journée de travail avec de nombreux détails renforce les apprentissages de la journée en stimulant la mémoire. Vous la racontez à vos parents le soir, par exemple lors du diner, ou bien vous pouvez vous la raconter à vous-mêmes mentalement, par exemple dans le bus. Il est important de se concentrer sur le contenu des apprentissages, qu'avez-vous appris en cours, pourquoi cela vous a intéressé, qu'est-ce qui vous a étonné, etc. Il faut éviter de se concentrer sur les commérages et autres évènements distrayants comme Truc qui a fait tomber sa règle, Bidule qui a fait une blague pour faire rire la classe, ou Machin qui a cassé un verre à la cantine. Il faut faire l'effort de n'exposer que **les objectifs des cours** de la journée : c'est plus difficile mais cet effort quotidien est très bénéfique. Vos parents peuvent vous y aider en vous posant des questions.

– Faire du sport régulièrement : Cela permet d'être plus en forme, de mieux dormir, et de diminuer l'anxiété. Inutile d'en faire à un haut niveau ou de chercher la compétition, mais se dépenser physiquement quelques heures par semaines rend effectivement plus intelligent. Les cours d'EPS ne sont pas suffisants et devraient être complétés par une participation à l'UNSS, une inscription dans un club de sport, ou même un simple jogging régulier dans votre quartier.

Dans la salle de classe

L'acquisition des connaissances commence évidemment en cours. La première chose à faire est d'éviter les distractions inutiles pour se concentrer sur son travail. Une classe est un collectif d'apprentissage et pas seulement une somme d'individus apprenants. **Toute attitude inadaptée nous gêne donc nous-mêmes à accomplir nos objectifs mais gêne aussi les autres**. Voici les conseils les plus importants :

– Bien apporter son matériel scolaire à chaque fois (stylos, effaceurs, feuilles, cahiers, manuels, blouse, etc.) **:** Oublier son matériel, même si ce n'est que de temps en temps, perturbe non seulement la réalisation de son travail personnel en classe, mais aussi celui des autres élèves à qui on est obligé de demander des choses…

– Ne pas jouer avec son matériel : Cela peut être tentant de faire tournoyer son stylo, de gribouiller sur un brouillon, ou de planter son compas dans sa gomme, mais ces attitudes empêchent notre propre concentration sur nos apprentissages et perturbent également les autres élèves par des stimulations visuelles et sonores.

– Ne pas bavarder : Vous n'êtes pas là pour raconter votre weekend ou discuter de vos passions, même à voix basse. Les seules discussions autorisées sont celles qui concernent directement le cours. Si un voisin essaie de bavarder avec vous, demandez-lui de cesser de se déconcentrer pour son propre bien et pour le vôtre.

– Avoir conscience de la fragilité de sa concentration : Il est difficile de se concentrer sur une tâche unique en ignorant tout ce qui nous entoure et pour une durée assez longue, il faut en avoir conscience et donc **surveiller sa propre attitude**. Dès que l'on se détourne de la tâche à accomplir, il faut immédiatement se corriger et se reconcentrer. Cela demande des efforts et un certain entrainement, savoir se concentrer par soi-même n'est pas inné mais s'apprend.

– Écouter activement le professeur : Ne croyez pas que « attentif » signifie « rester silencieux ». Il faut mentalement vérifier régulièrement qu'on comprend le cours et qu'on comprend ce qu'on est en train de faire. Il faut par exemple essayer de reformuler dans sa tête une idée, une définition, une consigne, faire des liens avec les cours précédents, etc.

– Poser des questions au professeur : Le but n'est pas de montrer que vous participez superficiellement, mais d'améliorer votre compréhension du cours. Il ne faut donc pas poser de questions trop éloignées de la leçon, mais demander des précisions, ou une nouvelle explication à propos du cours actuel. Il faut donc mentalement s'entrainer à identifier précisément ce qu'on ne comprend pas pour résoudre rapidement les points de blocage. Le professeur ne peut

pas répondre clairement à une question trop vague. Il ne faut pas avoir peur de montrer aux autres élèves qu'on n'a pas compris quelque chose, cette attitude superficielle ne permet pas de progresser. **Les notions qui n'ont pas été comprises en classe ont très peu de chances d'être comprises à la maison.**

– Écouter les questions des autres élèves : Vos camarades peuvent poser des questions auxquelles vous n'avez pas pensé, il faut donc systématiquement écouter et **se demander si nous-mêmes nous saurions répondre** à cette question. Ensuite il faut comparer la réponse du professeur à celle que nous aurions donnée. Cette attitude mentale active permet non seulement d'accélérer et de renforcer les apprentissages mais évite aussi de perdre du temps en obligeant le professeur à répondre plusieurs fois aux mêmes questions.

– Compléter son cours par des notes : Même si le cours complet est dicté, distribué sous la forme de photocopies, disponible sur le manuel ou sur Internet, il est indispensable de toujours avoir un stylo dans la main et d'avoir un papier pour pouvoir noter une précision, une réponse à une question, etc. Il ne faut pas hésiter à écrire un détail, une explication, une clarification, ou un exemple dans la marge de son cours. Ce n'est pas au professeur de vous dire sans cesse quand écrire et quoi écrire, **il faut faire preuve d'initiative et d'autonomie**.

Comment réviser : ce qui marche vraiment

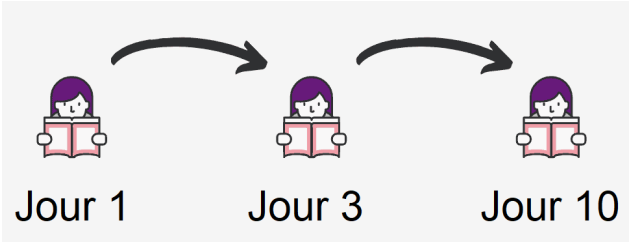
Lorsque l'on révise certains comportement sont bénéfiques aux apprentissages alors que d'autres ne le sont pas du tout. Il faut donc savoir distinguer les bonnes et les mauvaises habitudes pour être efficace. Les études scientifiques en psychologie cognitive démontrent ainsi qu'il faut faire les choses suivantes :

– Réviser à un rythme soutenu : Réduire sa vitesse de travail en prenant trop son temps, « en y allant à son rythme », n'est pas une bonne idée car si les stimulations intellectuelles sont peu intenses la concentration diminue rapidement et l'apprentissage est inefficace. Votre travail doit être modérément difficile pour être profitable, il doit nécessiter un effort de concentration et exciter votre activité mentale. Cela vous permet en plus d'économiser un temps précieux. Il vaut mieux faire des pauses entre deux sessions de travail intenses plutôt que de travailler en continu à une cadence faible.

– Ne pas réviser à proximité de distractions : Si vous pouvez réviser avec de la musique ou bien avec la télévision allumée c'est que vous n'êtes pas assez concentrés, vos performances sont alors très faibles. Travaillez dans le calme, **sans musique, sans télévision**, et éliminez de votre environnement les sources de distractions comme **les écrans, mêmes éteints, qui doivent être placés dans une autre pièce pour ne pas être visibles** (téléphones, tablettes, etc.).

– Planifier ses devoirs : Les professeurs ne donnent pas des devoirs pour embêter les élèves, mais pour renforcer leurs apprentissages et atteindre les objectifs pédagogiques des programmes scolaires. Il est donc très important de faire ses devoirs pour réussir ses apprentissages, mais il faut également les planifier à l'avance. Il ne faut pas faire tous les devoirs inscrits dans l'agenda pour le lendemain le soir même. Certains devoirs comme des exercices simples peuvent être réalisés au cours de la semaine précédente pour gagner du temps (quitte à simplement relire votre solution le soir pour avoir le problème en tête juste avant le cours). D'autres devoirs comme des révisions pour un contrôle peuvent être très longs et doivent être étalés dans le temps. Bref, il ne faut pas attendre le dernier moment et repousser le travail à faire, mais commencer dès que possible.

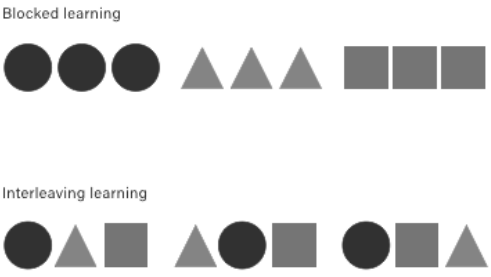
– Espacer les révisions : Cela rejoint le point précédent, 5 heures de révisions étalées sur deux semaines sont plus efficaces que 5 heures de révisions d'un coup. Peu de temps après une leçon (mais pas juste après) il faut la réétudier pour la consolider rapidement. Par exemple un cours qui a eu lieu le matin peut être relu dans l'après-midi après la pause déjeuner, pendant une heure d'étude (ou bien le soir ou le lendemain). Il faut non seulement revoir régulièrement les informations récentes, mais aussi les informations plus anciennes : qu'a-t-on étudier hier ? Il y a une semaine ? Il y a un mois ? Cela permet d'ancrer les apprentissages sur le long terme et ne pas avoir de lacunes.



– Pratiquer la récupération d'informations : La simple relecture est une activité passive qui ne stimule pas beaucoup les apprentissages. Une révision nécessite une activité mentale plus active. Après avoir étudié votre matériel scolaire (cahier, manuel, etc.) mettez-le de côté et sur une feuille **écrivez** et **dessinez** tout ce dont vous vous rappelez, puis vérifiez l'**exactitude** et la **complétude** de votre restitution. Vous pouvez faire des fiches, mais simplement relire ses fiches ne sert à rien, vous devez être capables de reproduire vos fiches sans les regarder. Il ne faut pas simplement se rappeler des mots, des définitions, et des schémas par cœur, mais être capable de mettre en évidence les liens entre les différentes idées et notions, savoir reformuler, etc.

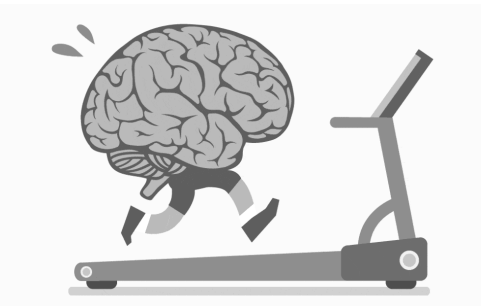
– Développer les idées : Le piège est d'avoir **l'impression de savoir** parce qu'on récite un texte appris par cœur comme une poésie. Il faut donc vérifier qu'on comprend vraiment ce qu'on croit comprendre. Pour cela il faut s'entrainer à reformuler les notions, à expliquer le cours d'une autre façon en donnant le plus de détails possibles. Mais il faut faire attention à ce que ces reformulations soient correctes, il faut donc vérifier en les comparant au cours ou en demandant au professeur. Il est utile de s'entrainer à cet exercice **en groupe** : un élève explique le cours tandis que les autres vérifient que l'explication est à la fois **exacte** et **complète**. L'exercice d'explication et l'exercice de vérification permettent tous les deux de progresser.

– Intercaler les sujets : Il ne faut pas étudier une même idée ou une même leçon pendant trop longtemps. Il faut alterner les différentes révisions plusieurs fois en faisant des pauses et en changeant l'ordre. On peut par exemple étudier les leçons A, puis B, puis C pendant une session de révisions, et lors de la session suivante étudier les leçons C, puis A, puis B, et encore changer l'ordre la fois d'après. Si les différentes leçons ou les différentes idées étudiées appartiennent à la même discipline on doit essayer d'établir des liens entre elles. Intercaler les leçons réclame plus d'efforts que de les étudier successivement, mais c'est aussi plus efficace. Préférez donc ABC CAB BCA plutôt que AAA BBB CCC.



– Chercher des exemples concrets : Les idées trop abstraites sont difficiles à mémoriser et à appliquer. Les concrétiser en s'appuyant sur des exemples donnés en cours ou bien en en cherchant de nouveaux facilite les apprentissages. Il faut cependant veiller à ce que les exemples trouvés, par exemple sur Internet, sont corrects en demandant au professeur.

– S'exercer en appliquant les principes et les formules : Il faut s'entrainer à refaire les exercices sans regarder la correction. Relire simplement la solution ne sert à rien, réviser sérieusement nécessite de refaire l'exercice à partir de l'énoncé. Il ne s'agit pas non plus de retenir la réponse par cœur mais d'être capable d'expliquer la **méthode** utilisée et pourquoi elle est utilisée. Il en est de même pour les travaux pratiques en ce qui concerne le protocole expérimental (qui doit pouvoir être justifié et reproduit) et l'exploitation des résultats (qui doivent pouvoir être analysés sans regarder la correction).



– Utiliser le double codage : Cela signifie d'abord comparer la signification des **illustrations** (schémas, tableaux, etc.) et la signification des **textes**. Entrainez-vous à expliquer en détails les idées représentées par les illustrations. Puis à partir des textes produisez vos propres illustrations. Une illustration peut représenter un processus précis à travers un schéma ou bien représenter les liens entre les idées à l'aide d'un organigramme ou d'une carte mentale. Entrainez-vous également à produire des illustrations sans regarder votre cours. Vous pouvez vérifier que vos productions sont correctes en les comparant ensuite avec le cours, ou bien avec le manuel, ou bien en demandant au professeur.

Avant et après un contrôle

C'est enfin le jour de l'épreuve et vous vous êtes bien préparés grâce à votre travail en classe et vos révisions à la maison. Mais avant d'en finir il faut avoir certaines choses importantes bien en tête :

– Le format de l'épreuve : Vous pouvez bien connaitre votre cours mais si vous ne savez pas quels sont les critères que l'examinateur utilise pour juger votre travail vous risquez d'être très déstabilisé et de perdre du temps. Il faut donc bien connaitre toutes les informations qui concernent la forme de la réponse attendue, comme la durée de l'épreuve, le nombre d'exercices, le matériel autorisé ou pas, les critères de réussite (Faut-il obligatoirement faire des schémas ? Faut-il faire une introduction ? Faut-il écrire les titres des différentes parties ? Faut-il annoncer le plan ? Etc.)

– La persévérance après l'épreuve : Que vous soyez satisfaits ou non de votre performance ce n'est pas le moment de tout oublier. Ce que vous avez appris servira de fondation à vos prochaines leçons, que ce soit la semaine suivante, le mois suivant, ou l'année suivante. Il faut donc continuer à réviser régulièrement le contenu des cours ayant déjà fait l'objet d'un contrôle. Cela est d'autant plus vrai si le résultat du contrôle est trop faible, il ne faut pas abandonner et passer à la leçon suivante en oubliant ce qui vient de se passer. Il faut **rebondir** sur un échec, ce qui signifie **chercher activement la cause de l'échec et la corriger**. En premier lieu comparez votre devoir à la correction pour comprendre les erreurs que vous avez faites, puis cherchez pourquoi vos révisions ne vous ont pas permis d'éviter ces erreurs. Est-ce un problème de quantité d'efforts ou bien un problème de qualité de la stratégie employée ? Avez-vous bien suivi tous les conseils qui sont écrits dans le présent fascicule ? Il faut alors **éviter deux attitudes contreproductives** : rejeter la responsabilité de l'échec sur quelqu'un d'autre (« j'ai échoué parce que le prof est nul » / « parce que je suis dans une mauvaise classe » / « parce que j'ai des problèmes familiaux » etc.) ou bien culpabiliser à cause de votre échec (« j'ai échoué parce que je suis nul » / « parce que je ne suis pas fait pour cette matière » etc.). Cela révèle un état d'esprit statique, **en prendre conscience permet de changer d'attitude** et de se motiver pour améliorer la situation.

Engagement personnel

Je soussigné(e), …… …… , élève en classe de première …… , m'engage pour toute l'année scolaire 2024 – 2025 à fournir tout le travail nécessaire pour obtenir les meilleurs résultats possibles en Spécialité SVT et à suivre scrupuleusement toutes les recommandations écrites dans le présent fascicule ainsi que les conseils donnés par mon professeur.

Signature de l'élève Signature du représentant légal

Les évaluations : formats et méthodes

Devoirs surveillés

Les devoirs surveillés en classe de Première se présentent sous la forme de **deux types d'exercices** différents : soit une synthèse (type 1) soit une étude de documents (type 2). Ils durent exactement une heure. Votre copie doit comprendre **entre 700 et 1 000 mots** (soit 70 à 100 lignes).

Exercice de type 1 : Synthèse

L'exercice se présente le plus souvent sous la forme d'une question scientifique ou d'un énoncé court auquel le candidat doit répondre grâce à ses connaissances. Il ne doit pas simplement restituer ses connaissances mais formuler une **réponse structurée** en mobilisant les divers éléments pertinents pour répondre au problème posé (il ne faut pas faire de hors-sujet ni oublier une partie du sujet). Le sujet peut parfois être accompagné d'un **document d'aide**, mais il n'est pas attendu du candidat qu'il l'analyse.

Une réponse structurée signifie que celle-ci doit comporter une introduction brève, un développement en plusieurs parties, et une conclusion claire et précise.

– L'introduction est une reformulation de l'énoncé, **enrichie de quelques définitions**. Cela permet de vérifier en quelques lignes que le candidat a compris l'objectif du sujet. On n'attend pas d'annonce du plan, de problématisation ou de justification du sujet en classe de Première (contrairement à la Terminale).

– Le développement doit être organisé explicitement en plusieurs parties (deux ou trois, rarement quatre), chacune doit comporter un **titre apparent, numéroté et souligné**. La progression à travers les différentes parties doit suivre une ligne directrice claire (logique ou chronologique). Celle-ci est d'ailleurs parfois sous-entendue dans l'énoncé. Le développement doit inclure des **arguments scientifiques** et des **exemples précis**.

– La conclusion est à la fois un résumé du développement (quelle est l'idée principale de **chaque partie** ?) et un bilan répondant **précisément** à la question de départ (quelle est l'idée centrale qui permet de **résoudre le problème** ?).

La réponse du candidat doit comporter au moins **une illustration** pertinente (généralement un schéma, ou parfois un tableau, un organigramme, etc.). Cela permet de vérifier la **capacité technique** du candidat à réaliser une illustration, mais aussi sa capacité à **choisir les éléments** qu'elle doit comporter (il ne faut pas juste reproduire un schéma du cours ou du manuel appris par cœur sans l'adapter au sujet). L'illustration peut être placée dans le développement ou dans la conclusion. Elle doit être réalisée **rapidement (environ 10 min)** pour ne pas perdre trop de temps sur la rédaction du texte. L'illustration doit être **grande**, claire, propre, titrée, et légendée.

Il faut **réduire le travail sur brouillon au minimum** en termes de temps (5 min). Il faut donc être **efficace dès le début** de l'épreuve et jeter sur le papier tous les mots-clés qui vous viennent en rapport avec l'énoncé. Puis il faut trier, barrer les notions qui sont finalement trop éloignées du sujet, les réorganiser dans un ordre approprié afin de constituer les différentes parties du développement. **Ne rédigez jamais aucune phrase sur votre brouillon, c'est trop long !**

Relisez bien l'énoncé avant de vous lancer dans la rédaction et relisez-le encore une fois avant d'écrire votre conclusion pour être sûr de ne pas avoir oublié une partie du sujet. Enfin prenez 5 min pour **relire l'ensemble de votre rédaction** à la recherche des fautes de grammaire et d'orthographe, mais surtout des lapsus, des contresens, et des phrases confuses ou incohérentes. Vous pouvez en profiter pour **souligner les mots-clés** qui sont importants et qui valorisent votre travail.

Exercice de type 2 : Étude de documents

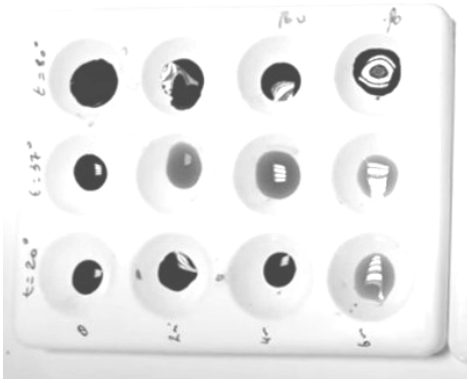
L'exercice est un court énoncé qui présente un problème à résoudre accompagné d'un corpus de **2 à 5 documents**. La réponse au problème doit prendre la forme d'un **raisonnement structuré** et scientifiquement rigoureux s'appuyant sur les documents et sur les connaissances du candidat. Tous les documents doivent être analysés.

Commencez votre étude par une **très courte introduction** qui reformule le problème et apporte des **définitions** permettant de clarifier le sujet et de faciliter vos futurs raisonnements. L'objectif pour le correcteur est d'évaluer si le candidat a compris le sujet ou non. Ensuite l'analyse de chaque document se déroule en trois étapes.

– La description est une lecture du document, vous devez identifier la nature (texte, graphique, schéma, etc.), l'auteur et la source éventuels, énumérer les éléments principaux, lire des valeurs importantes, etc. Il faut rester factuel et s'appuyer uniquement sur ce que vous **voyez** effectivement sur le document. Quelqu'un qui n'aurait pas vu le document doit pouvoir s'en faire une image mentale assez fidèle à partir de votre description.

– L'interprétation permet d'établir des liens entre les différents éléments que vous avez décrits précédemment, par exemple des corrélations, des liens de cause à effet, etc. Vous pouvez formuler des hypothèses explicatives et essayer de les étayer, soit avec d'autres éléments des documents, soit avec **vos connaissances**. Il est également attendu que votre analyse soit ici complétée par le rappel d'éléments provenant des documents précédents.

– La conclusion est un petit bilan qui met en valeur les indices et les déductions que vous avez pu réaliser et qui participent à la résolution du problème principal. On essaie ainsi d'envisager les implications de cette solution.

Document à analyser	Analyse du document
 **Document. Suivi de l'hydrolyse de l'amidon par l'amylase pancréatique.** Les trois lignes correspondent à trois températures de réaction différentes, respectivement 80 °C, 37 °C, 20 °C. Les concentrations en amidon et en amylase sont les mêmes dans les trois conditions. Les colonnes correspondent aux temps des prélèvements successifs : 0 min, 2 min, 4 min, et 6 min. Une goutte d'eau iodée a été rajoutée dans chacun des puits.	**Je vois que** le document est une photographie d'une plaque de coloration dans laquelle des échantillons de trois expériences d'hydrolyse d'amidon ont été déposés à des moments différents. L'enzyme employée est l'amylase pancréatique. Seule la température varie entre chaque expérience. On constate qu'à 80 °C les échantillons restent noirs. À 37 °C les échantillons s'éclaircissent dès 2 min, alors qu'à 20 °C ils ne s'éclaircissent qu'à partir de 6 min. **Or je sais que** l'eau iodée (normalement jaune) ajoutée aux échantillons colore l'amidon en noir, cela permet donc de constater sa présence ou non. On en déduit que l'amidon n'est pas du tout consommé à 80 °C, qu'il est consommé rapidement à 37 °C et plus lentement à 20 °C. **J'en conclus que** l'amylase a une température optimale de fonctionnement autour de 37 °C (soit la température du corps humain) et donc que la vitesse d'une réaction enzymatique n'augmente pas nécessairement avec la température comme dans une réaction chimique classique.

Fautes de rédaction fréquentes

Rappel des principaux mots et expressions strictement interdits en SVT :

Termes à éviter	Exemples fautifs	Explications
Pour, afin de	Les plantes produisent de l'oxygène pour que les animaux puissent respirer.	Cela suggère de les plantes ont un but ou une intention, ce qui n'est évidemment pas le cas.
S'adapter	Les tétrapodes se sont adaptés à la vie terrestre en changeant leurs nageoires en pattes.	Une adaptation est le résultat d'une mutation aléatoire et d'une sélection, ce n'est pas un choix, ce n'est pas non plus l'environnement qui transforme les caractères.
Créer, création	Les abeilles créent du miel.	Le miel est produit par la transformation du nectar des fleurs. Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.
La courbe monte/descend	En été la courbe de la température monte.	La courbe n'est pas le paramètre, c'est la température qui augmente.
Un paramètre évolue	Avec le changement climatique la température évolue.	La phrase est extrêmement vague, on ne sait pas s'il s'agit d'une augmentation ou d'une diminution.

QCM

Un QCM vous sera soumis **à la fin de chaque chapitre**. Les formats des QCM sont toujours identiques. Ils comportent toujours 7 questions avec 4 propositions chacune. Parmi ces 28 propositions il y en a toujours 10 qui sont vraies et 18 qui sont fausses. On gagne 2 points pour une proposition vraie cochée et on perd un point pour une proposition fausse cochée. Les propositions non cochées ne font ni gagner ni perdre de points. Un point bonus est attribué si aucune proposition fausse n'a été cochée sur l'ensemble du QCM.

L'objectif de ce barème comportant des points négatifs est de vous forcer à ne pas cocher de propositions au hasard, si vous n'êtes pas sûr qu'une proposition est vraie alors il ne faut pas la cocher. La dangerosité des fausses croyances a toujours été soulignée par les grands penseurs, comme Jean-Jacques Rousseau qui écrivait :

> « L'ignorance n'a jamais fait de mal ; l'erreur seule est funeste ; on ne s'égare point parce qu'on ne sait pas, mais parce qu'on croit savoir. » (Émile ou De l'éducation, 1762)

Il est donc plus sage de savoir qu'on ne sait pas, plutôt que de croire faussement qu'on sait. **Apprendre à évaluer son propre degré de confiance en une connaissance fait partie de l'éducation à l'esprit critique.**

Travaux pratiques

En Terminale l'épreuve finale de SVT comporte une évaluation des capacités expérimentales (ECE), c'est-à-dire un TP noté. C'est une épreuve individuelle au baccalauréat qui compte pour 5 points sur 20. Au cours de l'année de Première ce type d'épreuve sera évalué uniquement en binômes (tirés au sort). **Il y aura un TP noté d'une heure par trimestre.**

L'évaluation du TP comporte toujours deux parties :
– La première est la recherche du **matériel** et du **protocole** nécessaires à la résolution du problème posé dans l'énoncé, ainsi que la **réalisation** effective du protocole (proprement, en respectant les règles de sécurité).
– La deuxième est la **communication** des résultats de l'expérience menée (schéma, tableau, etc.) et la rédaction d'un **raisonnement** amenant à une **conclusion** permettant de résoudre le problème.

Méthode pour le dessin d'observation

L'observation d'un objet concret peut être figurée par un **schéma** ou par un **dessin**. Ce dernier doit être une représentation **réaliste et fidèle** de l'objet observé au contraire du schéma qui doit seulement mettre en évidence ce qui est important (les détails superflus sont donc éliminés et des éléments non visibles peuvent être ajoutés).

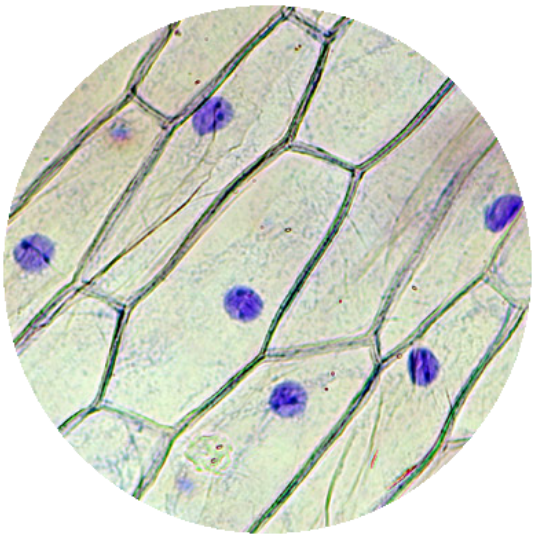
– Le dessin doit être **propre** : pas de traces de gomme, de blanc, de ratures, etc.
– Tout doit être réalisé au **crayon à papier** et sur une feuille blanche **sans carreaux** au format A4
– Le dessin doit être centré et le plus grand possible (en laissant suffisamment de place pour le titre et les légendes)
– Utilisez un crayon **bien taillé**, pas trop épais ni trop gras, le tracé doit être **net** ; ne pas utiliser de stylos ou de feutres
– Évitez les remplissages, **n'ajoutez pas d'ombres**
– Tracez **les traits de légende à la règle** et alignez les légendes le long d'une ligne verticale virtuelle (**ne pas la tracer** ou bien la gommer soigneusement). Les traits de légende ne doivent pas se croiser et **ne doivent pas finir par une flèche**
– Les légendes doivent être complètes et scientifiquement exactes
– Le titre doit être **pertinent** (Qu'est-ce qui est observé ? Comment ?) et **souligné**
– **Pour ne pas vous prendre une T.O.L.E. :** Pensez bien à mettre un **T**itre, l'**O**bjectif, les **L**égendes et une **É**chelle

En géologie uniquement : Les minéraux doivent être **coloriés** et dessinés dans **un cercle tracé au compas** ; ce cercle doit être divisé **verticalement** pour représenter la vue d'un côté en LPNA et de l'autre côté en LPA.

Les critères d'évaluation ne sont **pas indépendants** les uns des autres. Par exemple, si le dessin est de trop mauvaise qualité, alors la représentation pourra difficilement être qualifiée de réaliste et il sera sans nul doute compliqué de reconnaitre les différents éléments et donc d'apprécier la justesse des légendes. Le doute du professeur ne joue jamais en faveur de l'élève, assurez-vous donc de bien représenter les **informations pertinentes pour l'identification**.

Exemple de dessin d'observation en biologie

Photographie de la vue microscopique



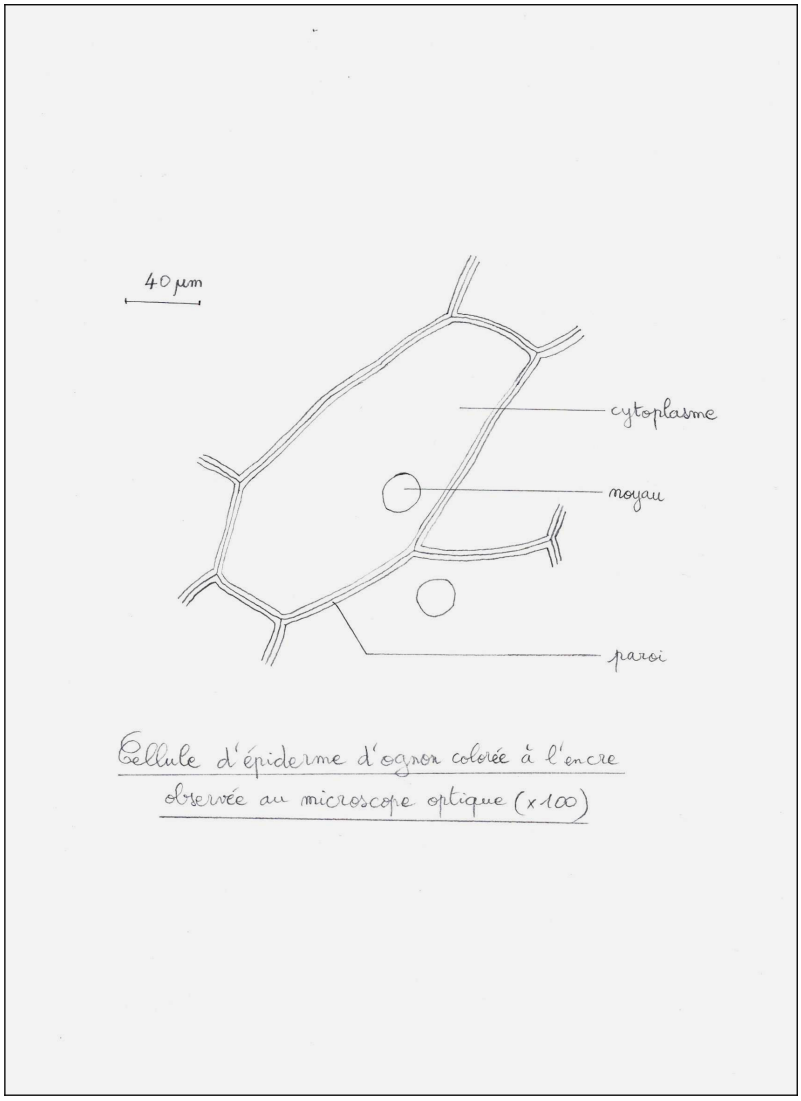
Barème

Éléments attendus	B	M
Mise en page globale (tailles, positions, etc.)		
Objectif et échelle crédible		
Titre pertinent et complet		
Qualité et propreté du dessin (finesse du tracé, traces de gomme, etc.)		
Réalisme de chaque élément (membranes, chromosomes, etc.)		
Réalisme des proportions entre les différents éléments		
Réalisme du dessin dans son ensemble		
Tous les éléments sont représentés et reconnaissables		
Légendes scientifiquement exactes (et sans faute d'orthographe)		
Légendes complètes et alignées		

B : Juste et complet / M : Absent, faux, confus, ou contient une erreur

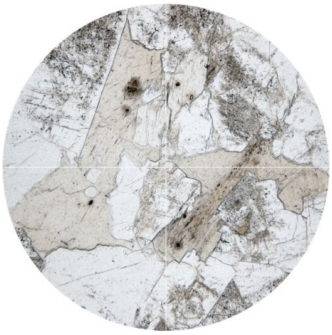
Dessin d'observation au format A4

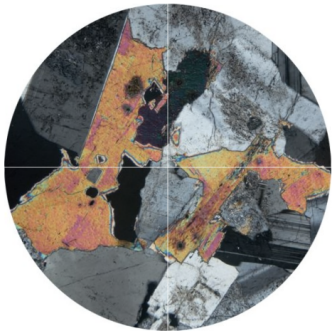
(ici reproduit à l'échelle 1/2)



Exemple de dessin d'observation en géologie

Photographies des vues microscopiques
(LPNA à gauche, LPA à droite)



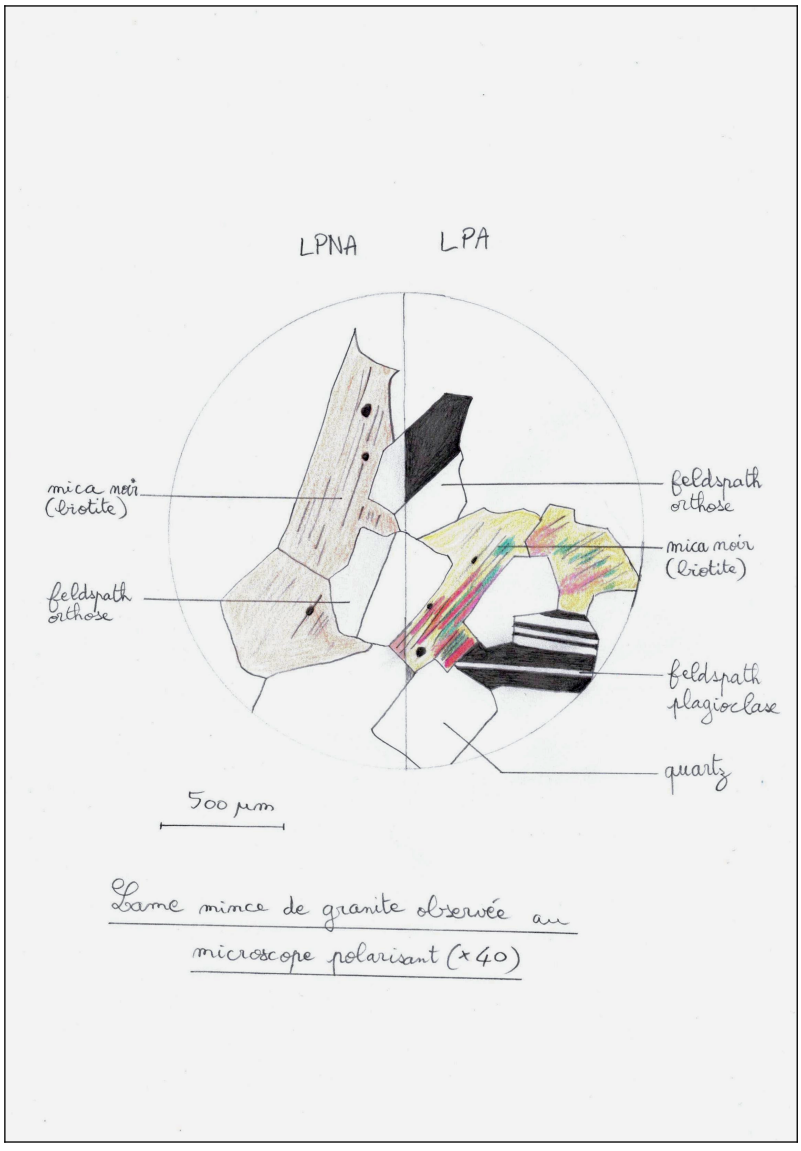


Barème

Éléments attendus	B	M
Mise en page globale (organisation, cercle LPNA/LPA, etc.)		
Objectif et échelle crédible		
Titre pertinent et complet		
Qualité et propreté du tracé (finesse, netteté, pas de rature, pas de trace de gomme, etc.)		
Réalisme des couleurs et des teintes pour chaque minéral, qualité du coloriage (sans dépassement, homogène)		
Réalisme des macles		
Réalisme des clivages et des craquelures		
Tous les éléments attendus sont représentés et reconnaissables		
Légendes exactes (et sans faute d'orthographe)		
Légendes complètes et alignées		

B : Juste et complet / M : Absent, faux, confus, ou contient une erreur

Dessin d'observation au format A4
(ici reproduit à l'échelle 1/2)



CHAPITRE I : La transmission et l'origine des caractères

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Déduire	Déduire les génotypes à partir des phénotypes sur un arbre généalogique		1, 2		
Présenter	Utiliser Libmol pour mettre en évidence un acide aminé particulier dans un polypeptide	1			

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Une protéine composées de plusieurs chaines polypeptidiques constituées d'acides aminés	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● La relation génotype/phénotype

Dans toutes les espèces, les individus ont une diversité de différences physiques et fonctionnelles transmissibles à leurs descendants. Ces différences ont pour origine des patrimoines génétiques variés. **Expliquez comment la structure de l'information génétique d'un organisme (son génotype) détermine les caractères observables (son phénotype).** Vous détaillerez les différentes fonctions que peuvent accomplir les protéines en vous appuyant sur des exemples. Les mécanismes moléculaires de la transcription et de la traduction ne sont pas attendus. *Votre réponse devra être structurée et comporter un schéma.*

Leçon 1 : Les gènes et les caractères

La transmission des caractères

Les organismes peuvent être décrits par des attributs biologiques intrinsèques ou ..... . Les caractères peuvent être de nature morphologique, anatomique, ou physiologique. L'ensemble des caractères constitue le ..... . La transmission de caractères d'une génération à la suivante s'appelle l'..... . Les caractères ne se transmettent pas directement mais par l'intermédiaire de **facteurs** de l'hérédité. Ces facteurs s'appellent des ..... .

L'expression des allèles

Chaque gène existe en plusieurs versions appelées ..... portant des informations génétiques différentes à propos du ..... gouverné. Chaque cellule possède deux exemplaires de chaque gène chez les organismes ..... . Si un organisme possède deux fois le même allèle alors il est ..... pour ce gène, sinon il est ..... . Dans le deuxième cas, le caractère exprime l'information portée par l'allèle ..... , et l'allèle ..... reste silencieux. L'ensemble des informations génétiques portées par les allèles constitue le ..... .

La différenciation cellulaire

Malgré un génome identique les cellules des organismes pluricellulaires sont ..... , c'est-à-dire qu'elles n'ont pas toutes le même ..... . Cela permet une spécialisation des cellules ayant des ..... différentes dans l'organisme. Ainsi, même si tous les gènes sont ..... , tous ne s'expriment pas.

Définitions

Caractère : Un aspect ..... observable ou mesurable d'une entité biologique (organisme ou cellule).

Information génétique : Structure discrète cachée dans un organisme mais responsable de la mise en place (genèse) des ..... .

Phénotype : Ensemble des ..... d'une entité biologique (organisme ou cellule). Il se note entre crochets.

Génotype : Ensemble des ..... appartenant à une même entité biologique (organisme ou cellule). Il se note entre parenthèses.

Dominance : Capacité d'un allèle à masquer l'..... d'un autre allèle.

Leçon 2 : Les rôles des protéines

La structure et les fonctions des protéines

Les protéines sont constituées d'une ou plusieurs chaines ..... . Chacune est composée d'un assemblage linéaire d'..... sous la forme d'une séquence précise. Une chaine polypeptidique est ainsi constituée d'une répétition de monomères, il s'agit donc d'un ..... . Les protéines peuvent être composées de ..... types d'acides aminés différents.

Certaines protéines permettent de colorer des cellules, ce sont des ..... (comme les opsines). D'autres protéines, comme les hormones protéiques et les récepteurs membranaires, jouent un rôle dans la ..... des cellules avec leur environnement. Certaines protéines permettent à des parties de la cellule ou bien à la cellule entière de se déformer d'une façon spécifique (comme l'actine et la myosine), elles ont donc un rôle dans la ..... . Enfin de nombreuses protéines ont un rôle de catalyseur, ce sont les ..... .

L'explication moléculaire du phénotype

Chaque enzyme ..... une réaction chimique particulière dans la cellule. L'ensemble des réactions chimiques cellulaires s'appelle le ..... . Ce dernier est responsable de l'extraction de l'énergie ou ..... , et de la production des macromolécules constitutives de la cellule ou ..... .

Cela montre que les protéines sont à la base de l'explication moléculaire de la plupart des ..... macroscopiques : lorsque ceux-ci ne s'expliquent pas directement par la présence de telles ou telles protéines, ils s'expliquent indirectement par la présence de molécules produites grâce à des ..... (donc des protéines). La production des protéines réalise donc le ..... .

Définitions

Polymère : Molécule constituée de la ..... de nombreuses sous-unités appelées monomères.

Hormone : Molécule généralement de nature protidique ou lipidique sécrétée dans le ..... et agissant sur des cellules-cibles.

Cellule-cible : Cellule exprimant un ..... spécifique à une molécule particulière.

Enzyme : Protéine permettant d'..... une réaction chimique spécifique avec des substrats spécifiques dans des conditions compatibles avec la vie (température, pH).

Catalyse : Processus d'accélération d'une réaction chimique par l'ajout d'une substance non ..... par celle-ci appelée un catalyseur.

TP 1 : Les structures des protéines (1 h)

Matériel : Ordinateur ; Logiciel Libmol ; Logiciel LibreOffice Writer ; Imprimante couleur.

L'objectif est ici d'étudier les structures moléculaires des protéines, et des enzymes en particulier. La met-enképhaline est une protéine produite et libérée par les neurones lors d'une sensation douloureuse intense. Elles inhibent la propagation des messages douloureux jusqu'au cerveau, ce qui a un effet analgésiant.

1) Rendez-vous sur le logiciel Libmol (http://libmol.org) et cherchez la met-enképhaline dans la librairie de molécules. Sélectionnez la molécule pour l'afficher.

2) Sélectionnez chaque acide aminé un par un pour lui donner une couleur différente des autres. Faites une capture d'écran. Ouvrez LibreOffice Writer pour y coller cette image, rognez-la, légendez-la et donnez-lui un titre. Imprimez votre travail. **Quelle est la séquence de cette protéine ? De combien d'acides aminés est-elle composée ? Comment sont organisés les acides aminés dans une chaine polypeptidique ?**

La β-galactosidase est une enzyme produite par la bactérie *E. coli*, elle permet d'hydrolyser le lactose en galactose et glucose. On veut mettre en évidence la nature homotétramérique de la β-galactosidase, c'est-à-dire le fait que cette protéine soit composée de quatre chaines polypeptidiques. On veut également mettre en relief les sites catalytiques responsables de l'hydrolyse des lactoses.

3) Sur Libmol cherchez dans la librairie de molécules « Bêta-galactosidase et son substrat (lactose) ». Dans les commandes, choisissez de colorer les chaines pour les mettre en évidence. **Combien de chaines polypeptidiques comportent cette protéine ?**

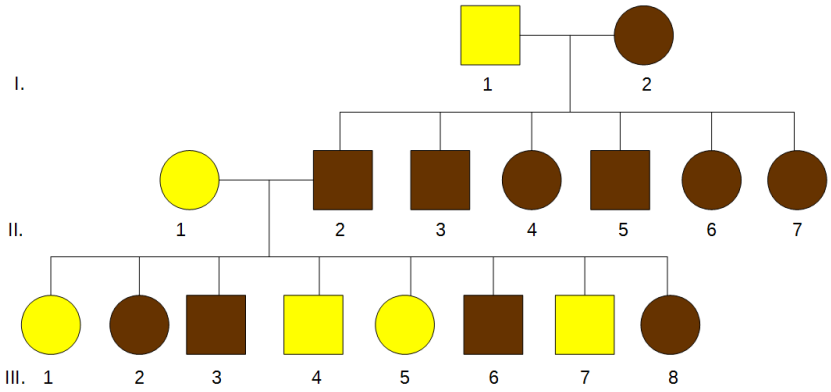
4) Dans les commandes sélectionnez les glucides (ce sont les substrats), puis dans « Séquence » mettez-les sous forme de sphères pour les rendre plus apparents. **Combien y a-t-il de sites catalytiques ? Combien de molécules de lactose peuvent être hydrolysées en même temps ?**

5) La β-galactosidase dont on vient d'étudier la structure ne fonctionne pas, elle comporte une mutation : une glutamine (Gln) en position 537 au lieu d'un acide glutamique (Glu) à cet endroit dans la protéine fonctionnelle. Sélectionnez cette acide aminé pour trouver sa position sur la molécule affichée. Vous pouvez par exemple blanchir toutes les molécules, et ne colorer ensuite que les quatre Gln 537. **Expliquez pourquoi la protéine mutée ne fonctionne pas.**

Exercices d'application

Exercice 1 : La couleur du pelage du labrador

La couleur du pelage du labrador est contrôlée par plusieurs gènes. L'un d'entre eux, le gène *MC1R*, a pour effet dans l'une de ses versions de donner un pelage de couleur sable (allèle e), et dans l'autre un pelage de couleur noire ou chocolat (allèle E). **Utilisez les documents à votre disposition pour déduire les génotypes de tous les chiens présentés.**



Document 1. Arbre généalogique de quelques labradors. Les individus I.1, I.2, et II.1 sont issus de lignées pures. Les cercles représentent les femelles et les carrés les mâles. Les symboles sont colorés de la même manière que le phénotype du chien qu'il représente (couleur sable ou noir/chocolat).

Document 2. Les phénotypes de Achille (à gauche) et de Bilbo (à droite).

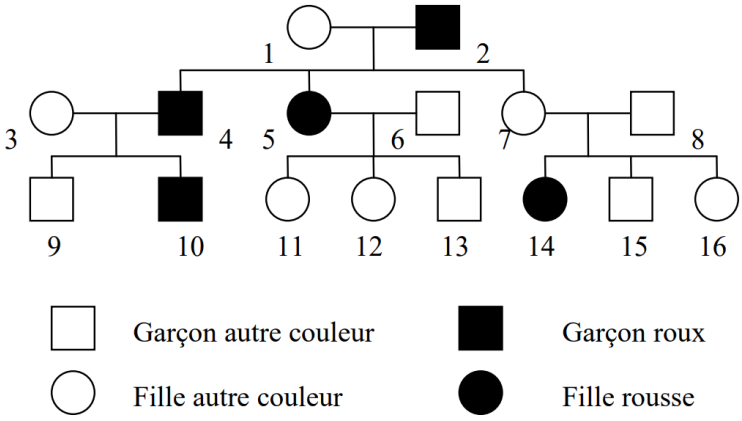
Exercice 2 : Les cheveux roux

La transmission du caractère « cheveux roux » a été observée dans une famille dont l'arbre généalogique est représenté ci-contre. On suppose que ce trait s'explique grâce à un seul gène possédant deux versions différentes.

1) L'allèle responsable de ce caractère est-il dominant ou récessif ?

2) Cet allèle est-il porté par le chromosome X, par le chromosome Y, ou par un autre chromosome ?

3) Choisissez des symboles pour les deux allèles et écrivez les génotypes de tous individus de cet arbre.



Document. L'arbre généalogique d'une famille humaine.

CHAPITRE II : Les enzymes

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Manipuler	Réaliser des expériences utilisant des enzymes dans des conditions contrôlées de température et de pH et mesurer les variations des concentrations en substrat ou en produit au cours du temps	2, 4			
Manipuler	Montrer expérimentalement la présence ou l'absence d'une enzyme dans une solution ou un tissu biologique	2, 4			
Manipuler	Utiliser une simulation informatique pour modéliser une cinétique enzymatique et les interactions enzyme-substrat	3			
Comparer	Comparer les vitesses initiales d'une réaction enzymatique en faisant varier soit la concentration en substrat soit en enzyme	3, 4	3		
Calculer	Utiliser la tangente à l'origine pour calculer la vitesse initiale d'une réaction enzymatique	3, 4	3		
Déduire	Reconstituer les étapes d'une chaine de biosynthèse à partir de données expérimentales sur des mutants auxotrophes		4		

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Une réaction enzymatique à l'échelle moléculaire avec l'étape intermédiaire du complexe enzyme-substrat	
Graphique représentant une cinétique enzymatique avec la consommation des substrats et l'apparition des produits	
Graphique représentant l'asymptote horizontale vers la vitesse initiale maximale lorsque les enzymes sont saturées en substrats	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● Les propriétés catalytiques des enzymes

Les enzymes sont des protéines produites par l'expression des gènes. Vous présenterez comment le fonctionnement des enzymes participe au métabolisme de l'organisme en vous appuyant sur des exemples précis. *Votre réponse devra comporter un schéma et être structurée avec un plan explicite.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Les enzymes et la réalisation du phénotype

L'expression de l'information génétique se manifeste par la production de protéines, parmi lesquelles certaines ont des propriétés catalytiques : les enzymes. **Après avoir détailler la structure générale des protéines, vous expliquerez comment les enzymes participent à la mise en place des caractères observables.** Les détails concernant la cinétique enzymatique ne sont pas attendus. *Vous êtes prié de présenter une réponse structurée explicitement par un plan et accompagnée d'un schéma.*

Leçon 3 : Le mode d'action des enzymes

Le mécanisme catalytique

Les enzymes sont des ..... qui catalysent des transformations chimiques dans le métabolisme d'une cellule ou à l'extérieur de celle-ci. Les réactions chimiques ainsi catalysées ne ..... pas les enzymes, celles-ci peuvent donc être réutilisées de manière cyclique. Une très ..... concentration en enzymes suffit donc à accélérer significativement une réaction.

Chaque enzyme ne catalyse qu'un seul type de transformation chimique et n'agit que sur un seul type de ..... , elles ont donc une double ..... . L'enzyme se lie au substrat par ..... dans une zone limitée appelée le site de fixation. L'enzyme et le substrat forment alors ensemble un ..... . Les substrats se transforment en ..... en interagissant avec les acides aminés du site catalytique. Le site de fixation et le site catalytique forment ensemble le site ..... .

Une modification des acides aminés du site actif peut empêcher la ..... du substrat ou sa transformation en ..... , mais des modifications de la séquence ailleurs dans l'enzyme peuvent aussi modifier sa ..... tridimensionnelle globale et donc altérer indirectement le site actif.

La cinétique enzymatique

Lorsque toutes les enzymes en solution sont occupées par des molécules de substrats la vitesse de la réaction enzymatique est ..... . Si la concentration en substrats n'est pas assez élevée par rapport à la concentration en enzymes alors la durée pendant laquelle une enzyme reste libre est significatif, ce qui rend la réaction plus ..... . Si la concentration en enzymes libres est négligeable on dit que l'enzyme est ..... en substrats.

La vitesse de la réaction enzymatique ..... donc au fur et à mesure que le substrat est consommé. La vitesse initiale de la réaction correspond à la pente de la ..... à l'origine de la courbe représentant la concentration en produits en fonction du temps ($V = d[P]/dt$ ou bien $V = -d[S]/dt$).

Si le substrat ne sature pas l'enzyme une augmentation de la concentration en substrats ..... la vitesse initiale de réaction. Par contre si le substrat sature l'enzyme une augmentation de la concentration en substrats n'augmente pas cette vitesse initiale : c'est la vitesse initiale ..... (souvent notée V_{max}) pour une concentration donnée en enzymes. Si le substrat sature l'enzyme cette vitesse initiale maximale est ..... à la concentration en enzymes.

Définitions

Substrat : ..... d'une transformation chimique catalysée par une enzyme.

Complexe : Association de plusieurs molécules ou ions sans formation de liaison ..... entre elles.

Leçon 4 : Les enzymes dans le métabolisme

Le contrôle de la production des enzymes

Les cellules …… d'un même organisme expriment des gènes différents et produisent donc des enzymes différentes. L'équipement enzymatique d'une cellule est donc un marqueur de sa …… dans certaines fonctions.

Un même type cellulaire peut aussi produire ou non une enzyme en fonction de son …… . Par exemple, en l'absence de son substrat une enzyme peut ne pas être produite, ce qui permet d'économiser de l'…… et des ……. L'activation de certains gènes peut aussi répondre à d'autres types de signaux comme des concentrations particulières en certaines …… .

Les chaines de biosynthèse

De nombreux composés …… sont synthétisés par les cellules en plusieurs étapes successives formant des chaines de biosynthèse. Dans une chaine de biosynthèse chaque étape est contrôlée par une …… particulière.

Dans une chaine de biosynthèse des mutations différentes se manifestent par la disparition d'…… différentes, mais elles aboutissent toutes à la rupture de la chaine ce qui peut rendre l'organisme …… pour le composé organique final. L'apport d'une substance faisant partie de la chaine de biosynthèse endommagée permet de restaurer la formation du produit final seulement si la mutation concerne une enzyme contrôlant une étape …… à la transformation de cette substance intermédiaire.

Définitions

Chaine de biosynthèse : Suite de réactions chimiques catalysées chacune par une …… spécifique.

Auxotrophie : Incapacité d'un organisme à …… une certaine substance organique nécessaire à son développement. L'auxotrophie s'oppose à la …… .

TP 2 : Mise en évidence de la spécificité de substrat (2 h)

Matériel : Bain-marie à 30 °C ; Bain-marie à 80 °C ; 2 pipettes de 1 mL ; 2 pipettes de 10 mL ; 8 tubes à essais ; Chiffon ; Papier pH ; Feutres ; 3 petites pipettes en plastique ; Chronomètre ; Plaque d'essai en porcelaine.

Solutions : Amylase salivaire 1 ‰ (2 × 50 mL) ; Empois d'amidon 1 ‰ (2 × 500 mL) ; Pepsine gastrique 2 % (2×50 mL) ; Ovalbumine (2 × 500 mL) ; Acide chlorhydrique (HCl) à 0,1 mol.L^{-1} ; Eau distillée ; Eau iodée (lugol).

L'amylase salivaire est une enzyme qui digère l'amidon en maltoses. La pepsine gastrique est une enzyme qui digère l'ovalbumine, la suspension d'aspect laiteuse devient alors transparente. Dans les expériences suivantes on veillera à toujours mélanger 9 mL de substrats pour 1 mL d'enzymes.

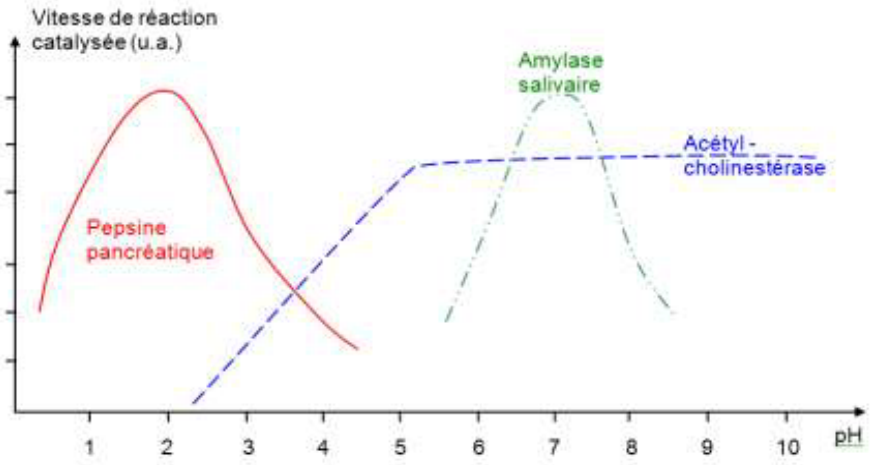
Précision pour la manipulation de l'acide chlorhydrique : *25 gouttes (environ 0,05 mL chacune) de HCl à 0,1 mol.L^{-1} suffisent à faire descendre le pH de 7 à 2 dans un tube à essai contenant 10 mL d'eau.*

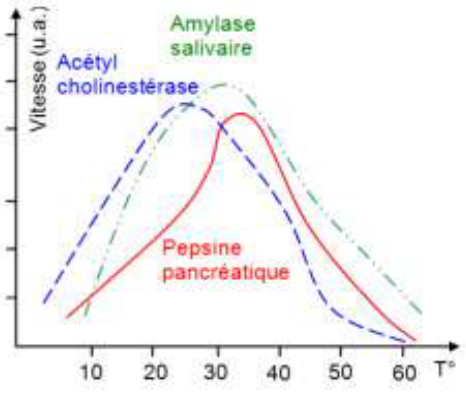
1) À l'aide du document et du matériel **mettez au point un protocole rigoureux** (identifiez bien les paramètres testés et les témoins) pour montrer que :
– L'amylase salivaire est spécifique de l'amidon et pas de l'ovalbumine (3 tubes à essais) ;
– La pepsine gastrique est spécifique de l'ovalbumine et pas de l'amidon (3 tubes à essais) ;
– L'amylase salivaire ne fonctionne pas à une température trop élevée (1 tube à essai) ;
– La pepsine gastrique ne fonctionne qu'à un pH particulier (1 tube à essai) ;

2) **Réalisez** les manipulations.

3) **Représentez** vos résultats schématiquement.

4) **Décrivez et comparez** vos résultats et tirez-en les conclusions appropriées.





Document. L'effet du pH et de la température sur l'action de diverses enzymes. La plupart des enzymes fonctionnent à une température et à un pH particuliers. Néanmoins d'autres enzymes peuvent supporter des conditions de pH ou de température plus variables. Généralement, ces conditions optimales sont celles du milieu naturel de l'enzyme. La plupart des enzymes humaines ont donc des conditions optimales de fonctionnement autour de 30 à 37 °C par exemple. De plus, les températures et pH extrêmes ont tendance à dégrader les enzymes (ce sont des protéines, comme toutes les molécules organiques elles peuvent cuire).

TP 3 : Un modèle de cinétique enzymatique (1 h)

Matériel : Ordinateur ; Logiciel Édu'modèles ; Logiciel LibreOffice Calc ; Imprimante.

La maltase est une enzyme qui hydrolyse le maltose en deux molécules de glucoses selon la réaction suivante :

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow O_2 + 2\ C_6H_{12}O_6$$

On cherche à modéliser et à comprendre les caractéristiques de la cinétique de cette réaction enzymatique.

1) Rendez-vous sur Édu'modèles (https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/edumodeles/). Choisissez en bas à gauche « Quelques exemples de modèles algorithmiques » puis « Catalyse enzymatique de l'hydrolyse du maltose ». **Quels sont les agents du modèle ? Caractérisez leurs interactions en expliquant les deux règles du modèles** (Cliquez sur « Modifier cette règle » pour voir la règle, mais ne modifiez rien !).

2) Lancez l'animation du modèle pour vérifier qu'il se comporte conformément à votre prédiction en laissant les paramètres par défaut (10 maltases, 50 maltoses). Vous pouvez modifier la vitesse de l'animation. Attendez environ 1 000 tours pour que tout le maltose soit consommé. **Décrivez et expliquez l'allure des courbes de la maltase libre, du maltose et du glucose** (Cliquez dans les légendes tout en bas pour ajouter ou supprimer des courbes sur le graphique, changez l'échelle horizontale avec la barre de défilement pour une lecture plus facile).

3) Dans les « Paramètres » en haut à droite, modifier la taille de la grille en choisissant un format de 50 lignes et 50 colonnes. Placez dans l'état initial 10 maltases et 50 maltoses (« Modifier cet agent » puis « Nombre d'agents de ce type au démarrage »). Réglez 20 tours de chauffe dans les paramètres de l'animation à gauche pour éviter les artéfacts du début de l'animation. Lancez la simulation à la vitesse maximale. **Lissez le graphique et tracez la tangente à l'origine sur la courbe du glucose à l'aide de la souris, puis relevez la valeur de la pente** (Quelle est l'unité ?).

4) Réinitialisez l'animation et placez cette fois 100 maltoses (menu « Modifier cet agent »). Lancez l'animation et relevez la valeur de la pente. Recommencez avec 200, 400, 600 et enfin 800 maltoses. **Que semble-t-il se passer ?**

5) Sur LibreOffice Calc réalisez un graphique représentant la vitesse initiale de la réaction enzymatique en fonction de la concentration en substrats. Imprimez votre graphique. **Son allure confirme-t-il votre hypothèse ?**

TP 4 : La catalase du navet (2 h)

Matériel : Imprimante ; Ordinateur ; Logiciel LibreOffice Calc ; Logiciel Capstone ; Sonde à O_2 ; Enceinte de mesure ; Agitateur magnétique ; Petit bécher ; Grosse seringue de 10 mL ; Petite seringue de 1 mL ; Bassine et eau distillée pour le nettoyage ; Solution de catalase (2 × 2 L de jus de navets) ; Solutions de H_2O_2 à différentes concentrations.

La catalase est une enzyme présente dans le navet, elle catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) :

$$2\ H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2\ H_2O$$

Le dégagement d'O_2 peut être mesuré par ExAO en utilisant une sonde à dioxygène. **En faisant varier la concentration de substrat** (H_2O_2) à concentration d'enzyme constante, il est possible d'étudier la cinétique enzymatique de la réaction.

1) **Réalisez** la manipulation en suivant le protocole fourni. Pour chaque expérience utilisez bien 20 mL d'enzymes et 1 mL de substrats.

2) **Calculez** les pentes des tangentes à l'origine des différentes courbes. **Titrez et légendez** le graphique représentant la concentration en produits en fonction du temps pour les différentes concentrations en substrats puis **imprimez-le**.

3) **Réalisez** un graphique sur LibreOffice Calc représentant la vitesse initiale de la réaction enzymatique en fonction de la concentration initiale en substrats. **Imprimez** ce graphique.

4) **Décrivez** et **interprétez** les courbes obtenues, que peut-on en **conclure** ?

Exercices d'application

Exercice 3 : Étude d'une cinétique enzymatique

1) On réalise sur une préparation pure en enzymes la mesure de l'apparition du produit en fonction du temps pour une concentration en substrats de 0,1 mol.L^{-1} (Document 1). **Tracez le graphique de la concentration en produit en fonction du temps et déterminez graphiquement la vitesse initiale de la réaction enzymatique.**

Temps (min)	0	0,5	1	2	3	4	5
[Produit] (µmol.L^{-1})	0	109	205	405	489	534	555

Document 1. Mesures expérimentales de la concentration en produit de la réaction enzymatique étudiée.

2) On mesure maintenant la vitesse initiale pour différentes concentrations en substrat (Document 2). **Tracez la vitesse initiale de réaction en fonction de la concentration en substrat. Que remarque-t-on ? Comment peut-on l'expliquer ?**

[Substrat] (mol.L^{-1})	0,0125	0,025	0,05	0,1
Vitesse initiale (µmol.L^{-1}.min^{-1})	133	167	190	.....

Document 2. Détermination des vitesses initiales de réaction en fonction de la concentration en substrat.

Exercice 4 : Des salmonelles auxotrophes pour l'histidine

Une souche sauvage de *Salmonella typhimurium*, une bactérie pathogène au génome haploïde, a été traitée avec un agent mutagène chimique, le sulfate de diéthyle (DES). On isole alors plusieurs souches mutantes, devenues auxotrophes pour l'histidine. Ces souches sont classées dans trois catégories distinctes selon le phénotype exprimé dans diverses conditions de culture. On cherche à reconstituer dans l'ordre les étapes de la voie de biosynthèse de l'histidine.

1) Décrivez la première colonne du tableau montrant les résultats des culture en milieu complet (MC). À quoi sert cette première série d'expériences ?

2) Faites de même pour la deuxième colonne en milieu minimum (MM). À quoi sert cette seconde série ?

3) Expliquez ce que l'on doit déduire de la troisième colonne après l'avoir comparée aux deux premières.

4) Analysez les deux dernières colonnes et déduisez-en si les molécules introduites dans le milieu de culture sont fabriquées avant ou après les étapes de la biosynthèse altérées par les mutations 1, 2 et 3.

5) Déduisez-en l'ordre de production des différents intermédiaires dans la chaine de biosynthèse de l'histidine, ainsi que les numéros des gènes qui contrôlent chaque étape.

Souche	**MC**	**MM**	**MM + histidine**	**MM + PR-ATP**	**MM + histidinol**
Sauvage	+	+	+	+	+
Mutant 1	+	–	+	–	+
Mutant 2	+	–	+	–	–
Mutant 3	+	–	+	+	+

Document. Les résultats des expériences de supplémentation de mutants de *Salmonella typhimurium*. MC = milieu complet, contient toutes sortes de molécules organiques ; MM = milieu minimum, ne contient que des sels minéraux, de l'eau et du glucose ; PR-ATP = phosphoribosyl-ATP ; « + » = la souche se développe ; « – » = la souche ne pousse pas.

CHAPITRE III : Les cycles cellulaires chez les eucaryotes

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Manipuler	Réaliser une préparation microscopique de cellules eucaryotes en cours de division	5, 6			
Dessiner	Réaliser un dessin d'observation d'une cellule en cours de division	5			
Identifier	Identifier au microscope ou sur des photographies les différentes phases de la mitose et de la méiose, et les remettre dans l'ordre chronologique	5, 6			
Déduire	Mettre en relation la quantité d'ADN dans une cellule et la phase du cycle cellulaire dans laquelle elle se trouve			2	
Légender	Placer schématiquement des gènes et des allèles sur des chromosomes et des chromatides		5		
Légender	Légender une photographie de molécule d'ADN en cours de réplication		6		
Construire	Suivre le devenir des brins d'ADN et des chromatides au cours de plusieurs réplications successives		7, 8	1	

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
La structure de l'ADN (révision de seconde)	
Le mécanisme moléculaire d'une réplication semi-conservative (œil de réplication complet et détaillé)	
Des chromosomes mono- ou bichromatidiens portant des gènes et des allèles distincts	
Un caryotype avec une formule chromosomique donnée	
Une mitose avec une formule chromosomique donnée	
Une méiose avec une formule chromosomique donnée	
Un cycle de vie complet incluant mitoses, méiose et fécondation	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● Mitose et méiose

Comparez les mécanismes de la mitose et de la méiose à partir de l'exemple d'une cellule de formule chromosomique $2n = 4$. *Votre réponse doit comporter un plan explicite et des schémas illustrant les étapes des divisions cellulaires sont exigés.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Réplication de l'ADN et hérédité

Montrez comment la réplication de l'ADN permet de transmettre l'information génétique responsable des caractères aux descendants d'un organisme. *Vous êtes invité à fournir une réponse avec un plan explicite et un schéma.*

Leçon 5 : La réplication de l'ADN

Le cycle cellulaire

Le cycle cellulaire des eucaryotes comprend deux grandes périodes : l'…… et la …… . L'interphase des cellules en prolifération se compose de trois phases : …… . La phase G_1 est une période de …… cellulaire et de …… à la synthèse d'ADN. La phase S correspond à l'étape de synthèse d'ADN. La phase G_2 est une période de croissance cellulaire et de préparation à la …… ou à la …… . Pendant G_1 un chromosome est constitué d'une chromatide, alors que pendant G_2 un chromosome est constitué de deux chromatides.

Les cellules peuvent sortir du cycle cellulaire et cesser de …… , on dit alors qu'elles sont en phase G_0. Cet état non prolifératif peut être …… (cellule quiescente) ou …… (cellule sénescente, ou différenciée). Dans ce cas elles n'ont qu'une chromatide par chromosome.

La phase S

Lors de la phase S les deux brins …… de l'ADN se séparent et chacun sert de …… à la synthèse d'un nouveau brin complémentaire. Les deux doubles hélices d'ADN issues de cette réplication héritent ainsi d'un des deux brins de la double hélice initiale, la réplication est donc dite …… .

Ces deux doubles hélices d'ADN sont par conséquent …… (elles portent les mêmes séquences), et forment chacune une des deux chromatides sœurs. L'enzyme responsable de la synthèse de l'ADN est l'…… .

Les chromatides sœurs dont a hérités chaque cellule fille sont …… , chaque cellule fille est donc génétiquement identique à la cellule mère, ce sont des …… . Le caryotype est conservé d'une génération cellulaire à la suivante, la reproduction est donc …… .

La PCR

Une séquence d'ADN peut être dupliquée un grand nombre de fois *in vitro* grâce à la technique de la …… qui mime partiellement le processus naturel de la réplication. Les brins d'ADN sont séparés par …… (phase de dénaturation) puis une ADN polymérase spéciale, résistante aux hautes températures, est utilisée pour synthétiser les brins complémentaires. Des …… spécifiques de la séquence à copier sont nécessaires à cette opération. Cette procédure est répétée plusieurs fois grâce à un appareil appelé …… .

Définitions

Quiescent : Qualifie une cellule dans un état non …… réversible.

Sénescent : Qualifie une cellule ayant certaines de ses fonctions dégradées et cessant de proliférer …… .

Différenciation : Processus par lequel une cellule se …… dans certaines fonctions.

Réplication : Processus de construction d'une …… d'une structure cellulaire à partir de celle-ci.

Clone cellulaire : Cellule ayant un patrimoine génétique …… à une autre cellule.

Leçon 6 : La mitose

Les chromosomes

Le nombre de chromosomes est identique à celui de la cellule mère à l'issue d'une division cellulaire …… . Toutes les cellules d'un eucaryote pluricellulaire sont issues de telles divisions à partir d'une cellule-œuf ou …… , et sont donc toutes génétiquement …… .

Les chromosomes sont constitués de …… . L'aspect des chromosomes change au cours du cycle cellulaire : ils sont …… pendant l'interphase, et se …… pendant la division cellulaire. Chez les espèces diploïdes le caryotype est composé de paires de chromosomes homologues. La formule chromosomique de l'homme est …… (*n* est le nombre de paires de chromosomes homologues).

Les étapes de la division cellulaire conforme

La division cellulaire comprend la …… et la …… . La mitose est une division …… du noyau père en deux noyaux fils. Chez les plantes et les animaux (mais pas chez les champignons), la mitose est ouverte, c'est-à-dire que l'enveloppe nucléaire …… au cours de la division du noyau, ce qui nous permet d'observer facilement les chromosomes. La mitose comporte 4 phases :

1. Prophase : …… des chromosomes (et disparition de l'enveloppe nucléaire)
2. Métaphase : Alignement des centromères sur le plan ……
3. Anaphase : Séparation et migration (ségrégation) des chromatides sœurs le long du fuseau mitotique vers les deux **pôles** opposés de la cellule
4. Télophase : …… des chromosomes (et reformation de l'enveloppe nucléaire)

Définitions

Caryotype : L'ensemble des …… d'une cellule, dont le nombre est caractéristique d'une …… donnée.

Chromatine : Matériau constituant les chromosomes, associant de l'ADN et des protéines …… .

Chromatide : Structure chromosomique ne contenant qu'une seule molécule …… .

Homologue : Se dit de deux chromosomes appartenant à une même cellule, capables de s'associer et portant généralement les mêmes …… (à l'exception des chromosomes sexuels).

Interphase : Période du cycle cellulaire séparant deux …… du noyau.

Cytodiérèse : Phase de la division cellulaire durant laquelle le …… de la cellule mère se sépare en deux cellules filles.

Mitose : Succession des évènements cytologiques qui conduisent à la …… des chromatides sœurs et à la constitution de deux noyaux fils identiques.

Fuseau mitotique : Ensemble des fibres, des ancres, et des moteurs moléculaires responsables des mouvements des …… lors d'une mitose.

Leçon 7 : La méiose

La syngamie

Le zygote diploïde est produit par la fusion de deux cellules haploïdes, les …… . Ce processus de syngamie comporte deux phases, la …… au cours de laquelle le pronucléus mâle pénètre dans le cytoplasme du gamète femelle, et la …… au cours de laquelle les deux pronucléus forment un noyau diploïde unique.

La gamétogenèse

Les gamètes sont produits à partir de cellules …… chez les organismes parentaux au cours d'un processus de division non conforme du noyau appelé méiose. Ce processus comporte …… divisions successives.

Lors de la première division méiotique les chromosomes bichromatidiens …… sont séparés en deux lots distincts par un fuseau méiotique. Chaque lot comporte *n* chromosomes au lieu de 2*n* dans le noyau père, cela réduit donc le nombre de chromosomes, cette division est alors dite …… . Les deux lots ne sont pas génétiquement identiques car les chromosomes homologues ne comportent pas nécessairement les mêmes …… .

Lors de la deuxième division méiotique les …… de chaque chromosome sont séparés en deux lots génétiquement identiques. Cette division est donc dite …… . Il en résulte donc …… noyaux fils.

Il y a généralement une cytodiérèse après chacune des deux divisions méiotiques. On observe ainsi d'abord une cellule diploïde (chromosomes bichromatidiens), puis deux cellules …… (chromosomes ……), et enfin quatre cellules …… (chromosomes ……).

Des erreurs de …… lors d'une mitose ou d'une méiose peuvent conduire à une …… . Celle-ci peut avoir de graves conséquences sur le …… .

Définitions

Gamète : Cellule différenciée haploïde spécialisée dans la …… .

Syngamie (ou fécondation) : Fusion complète de deux …… compatibles en un zygote.

Pronucléus (ou pronoyau) : Noyau haploïde présent dans un zygote et provenant d'un …… .

Zygote : Cellule diploïde issue de la …… et à l'origine d'un nouvel organisme.

Diploïde : Se dit d'une cellule comportant …… jeux de chromosomes …… .

Haploïde : Se dit d'une cellule ne comportant qu'un seul exemplaire de chaque …… .

Aneuploïdie : Présence d'un …… anormal de chromosomes dans une cellule. Les aneuploïdies n'incluent pas les pertes ou gains de jeux complets de chromosomes (triploïdie, tétraploïdie, etc.).

Méiose : Succession des évènements cytologiques conduisant d'abord à la ségrégation des …… …… puis à la ségrégation des …… …… dans quatre noyaux fils haploïdes à partir d'un noyau père diploïde.

TP 5 : Les figures de mitose (2 h)

Tous les organismes sont constitués d'au moins une cellule et toute cellule provient d'une autre cellule : c'est la théorie cellulaire. La cellule est donc l'unité structurale et fonctionnelle du vivant. Chez les eucaryotes, l'information génétique est principalement contenue dans le noyau sous la forme de chromosomes. Celui-ci se divise au cours d'un processus appelé mitose lors d'une division cellulaire conforme. **Notre objectif ici est d'observer ces figures de mitose dans des cellules de racines d'ail en pleine croissance.**

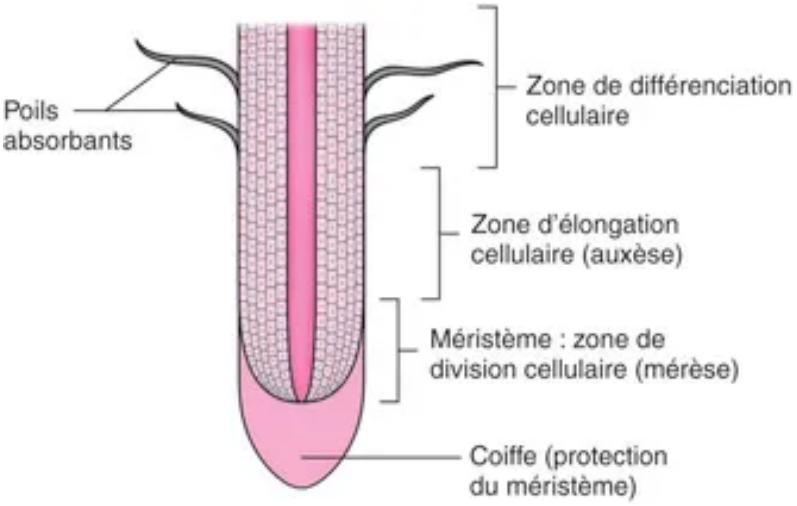
Matériel : Microscope ; Lames ; Lamelles ; Aiguilles lancéolées ; Racines d'ails colorées au carmino-vert.

1) Dilacérez l'extrémité d'une racine d'ail à l'aide de l'aiguille lancéolée et montez-la entre lame et lamelle. Aidez-vous du document ci-contre pour repérer la zone d'observation.

2) Observez votre lame et repérez une cellule en cours de division, puis calculez sa taille.

3) Repérez les 4 phases qui composent la mitose. **Appelez le professeur pour vérification.**

4) Réalisez un dessin d'observation d'une cellule en anaphase.



Document. La croissance d'une racine.

TP 6 : La spermatogenèse chez le criquet (2 h)

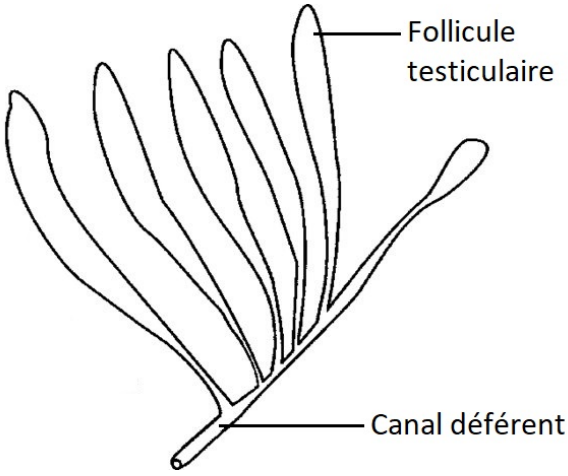
Tous les organismes eucaryotes sexués diploïdes produisent des gamètes haploïdes. L'information génétique contenue dans le noyau d'un gamète est donc différente de celle de la cellule-mère. Il s'agit d'une division non conforme, la méiose. **Notre objectif est ici d'observer des figures de méiose dans des cellules de testicules de criquet.**

Matériel : Microscope ; Ordinateur avec caméra ; Logiciel ToupView ; Imprimante couleur ; Criquet mâle ; Cuve de dissection ; Pinces ; Ciseaux fins ; Épingles ; Lames ; Lamelles ; 2 verres de montre ; Bleu de toluidine ; Liquide physiologique ; Fixateur ; Chronomètre.

1) Réalisez la dissection du criquet en suivant le protocole fourni. Les testicules sont situés dans la partie dorsale de l'abdomen, dans la moitié antérieure. Il sont enrobés de tissus adipeux jaunes orangés.

2) Servez-vous du schéma ci-contre pour repérer la zone d'observation. Observez votre lame et repérez une cellule en cours de division, puis calculez sa taille.

3) Prenez en photo une cellule contenant une figure de méiose. Placez l'image dans un document texte LibreOffice, rognez-la et redimensionnez-la de manière à ce qu'elle tiennent sur une seule page. Légendez et titrez convenablement la photo. Si possible, rajouter d'autres photos pour avoir la collection la plus complète possible. Imprimez enfin le résultat.



Document. La structure d'un testicule de criquet. Chaque testicule contient une cinquantaine de follicules, c'est là que se déroule la spermatogenèse.

Exercices d'application

Exercice 5 : Gènes, allèles, et chromosomes

1) Schématisez un chromosome bichromatidien et placez dessus deux gènes nommés A et B.

2) Schématisez une paire de chromosomes monochromatidiens et placez dessus deux allèles a et a'.

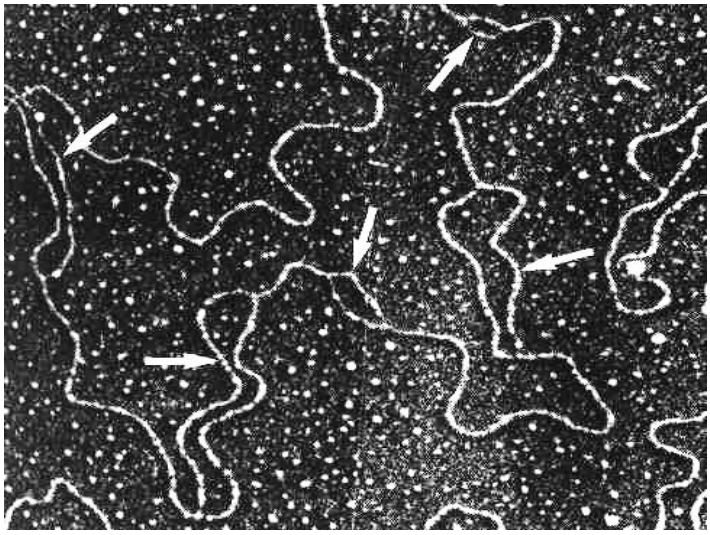
3) Schématisez une paire de chromosomes bichromatidiens et placez dessus deux gènes A et B comportant chacun deux allèles, a et a', b et b'.

4) Schématisez deux paires de chromosomes monochromatidiens et placez deux gènes A et B comportant chacun deux allèles, a et a', b et b' (deux solutions sont possibles).

Exercice 6 : Une réplication photographiée

1) Qu'indiquent les flèches blanches dans la photographie ci-contre ?

2) Réalisez un schéma d'interprétation sur lequel figurent clairement les brins conservés et les brins néosynthétisés.



Document. Molécule d'ADN prélevée dans une cellule eucaryote en phase S. Photographie obtenue par microscopie électronique à balayage (MEB).

Exercice 7 : Brins d'ADN, chromatides, et chromosomes

1) Schématisez simplement un chromosome monochromatidien condensé en représentant chaque brin d'ADN en noir.
2) Schématisez ce même chromosome, toujours condensé, après une réplication de son ADN. Vous représenterez les nouveaux brins en bleu.
3) Qu'obtient-on après une mitose et une nouvelle réplication ? Schématisez le résultat en représentant les nouveaux brins d'ADN en rouge.
4) On répète la dernière opération, schématisez le résultat en représentant les nouveaux brins d'ADN en vert.

Document. Le résultat de l'expérience.
Noir = très fluorescent ; Gris = peu fluorescent.

Exercice 8 : La réplication en présence de BrdU

Le BrdU est une molécule qui peut remplacer la thymine (T) lors de la réplication. Des cellules sont cultivées sur un milieu normal avec T sans BrdU pendant plusieurs cycles cellulaires. Elles sont ensuite cultivées dans un milieu avec BrdU mais sans T pendant deux cycles cellulaires. Les chromosomes sont analysés pendant la métaphase de la mitose du dernier cycle. Ils sont traités avec une substance qui rend la thymine fluorescente mais pas le BrdU, puis observés au microscope à fluorescence (voir ci-contre).

1) **Représentez** schématiquement les brins d'ADN contenant du BrdU ou de la thymine lors des métaphases successives à chaque étape de l'expérience et déterminez l'intensité prévisible de la fluorescence pour chaque chromatide.

2) **Montrez** que les résultats de l'expérience sont compatibles avec une réplication semi-conservative de l'ADN.

Étude de documents 1 : Meselson et Stahl, une expérience historique

En 1958, Meselson et Stahl souhaitent savoir comment l'ADN se réplique. Ils avaient imaginé trois modèles différents. Selon le modèle *conservatif* les deux brins de la molécule d'ADN initiale sont entièrement conservés et ne sont pas séparés, la molécule d'ADN répliquée est composée de deux brins néo-synthétisés. Selon le modèle *semi-conservatif* les deux brins d'ADN initiaux sont séparés dans les deux molécules d'ADN filles et associés chacun à un brin d'ADN néo-synthétisé. Selon le modèle *dispersif* aucun brin n'est conservé et tous les nucléotides qui les composent sont recyclés et dispersés dans les quatre brins d'ADN finaux. Meselson et Stahl réalisent alors des expériences sur des bactéries en cours de prolifération pour trancher entre ces différents modèles.

Montrez à l'aide des documents suivants que les modèles imaginés produisent des prédictions expérimentales différentes quant aux densités attendues des chromosomes à chaque génération et analysez les résultats de Meselson et Stahl pour éliminer les modèles incompatibles.

Des schémas représentant les chromosomes sont attendus.

Aide à la résolution :

- Choisir une couleur différente pour les brins d'ADN lourds, les brins d'ADN légers, et les brins d'ADN de densités intermédiaires.
- Dessiner un chromosome monochromatidien et ses deux brins d'ADN pour la génération initiale.
- Dessiner les chromosomes fils des trois générations suivantes en suivant scrupuleusement les trois modes de réplications hypothétiques décrits dans l'énoncé.
- Calculer les densités prédites des différents chromosomes à chaque génération pour chaque mécanisme de réplication et les comparer aux résultats expérimentaux réels.

– Des bactéries sont cultivées dans un milieu riche en ^{15}N, un isotope lourd de l'azote, pendant de nombreuses générations.

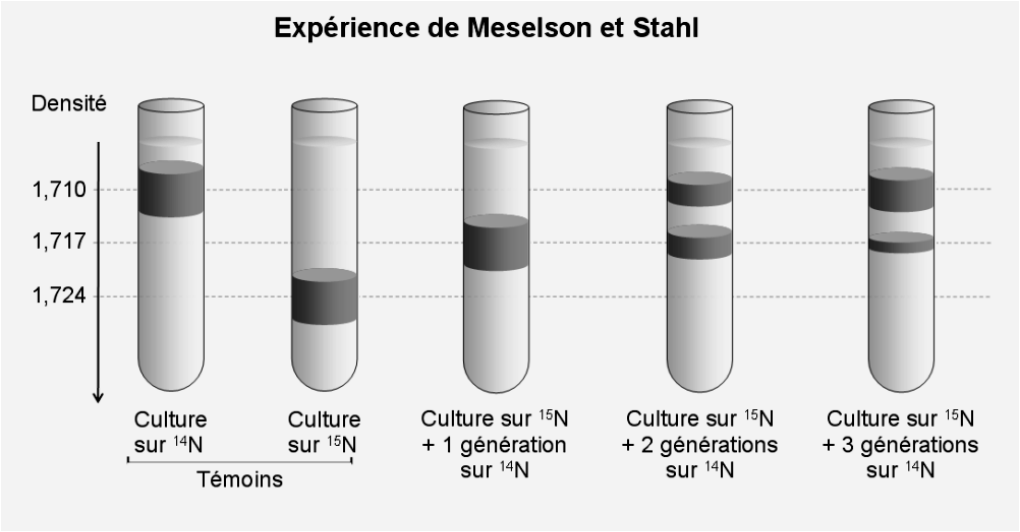
– Comme la molécule d'ADN contient de l'azote, l'ADN synthétisé par ces bactéries est un peu plus dense (1,724) que l'ADN normal (1,710).

– Ces bactéries sont ensuite transférées dans un milieu contenant de l'azote léger ^{14}N où leurs premières divisions cellulaires sont artificiellement synchronisées pendant quelques générations.

– Les nucléotides synthétisés au cours de ces derniers cycles cellulaires sont donc produits à partir de cet azote léger disponible dans le nouveau milieu de culture.

– Après chaque division cellulaire, Meselson et Stahl récupèrent l'ADN des bactéries et mesurent les densités des chromosomes par centrifugation. Ils ne mesurent pas les densités des brins d'ADN individuels mais bien des chromosomes. La densité d'un chromosome est la moyenne des densités des deux brins qui le composent. Si des chromosomes de densités différentes sont présents dans les cellules, l'expérience permet de les distinguer et de calculer leurs proportions relatives.

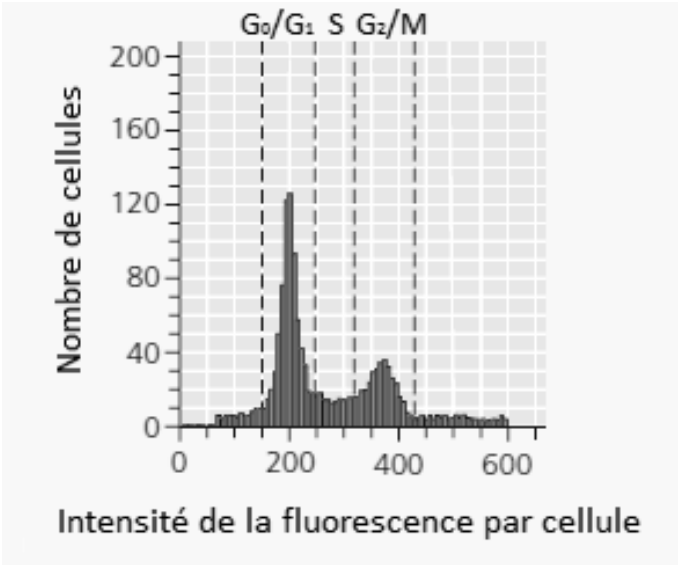
Document 1. Protocole de l'expérience de Meselson et Stahl. Photographie de Meselson et Stahl.



Document 2. Résultats de l'expérience de Meselson et Stahl. L'ADN des bactéries est centrifugé dans des tubes contenant un gradient de densité de chlorure de césium. La densité de ce liquide est plus importante en bas qu'en haut des tubes. L'ADN s'arrête de migrer là où sa densité est égale à celle du liquide.

Étude de documents 2 : La prolifération des levures

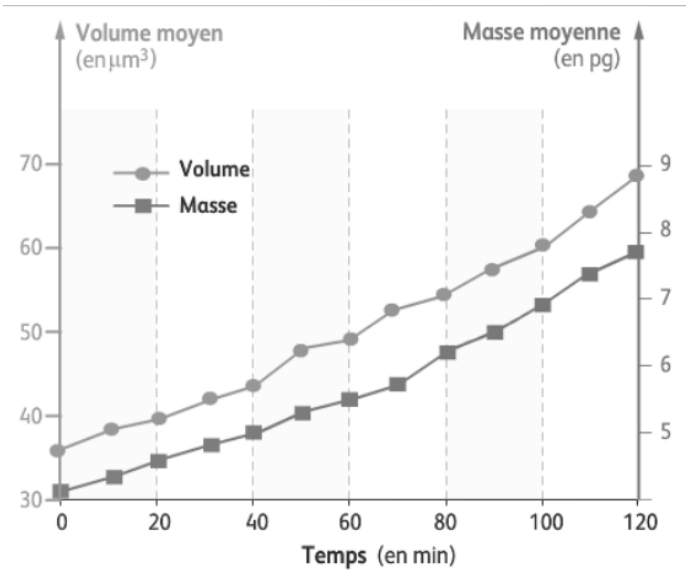
On réalise des expériences sur des cultures de levures de bière pour étudier les étapes successives du cycle cellulaire conforme. **Analysez les documents suivants pour déterminer les évènements qui se produisent au cours de chaque phase.** *La réalisation et l'exploitation d'un graphique à partir des données du document 2 est attendue.*



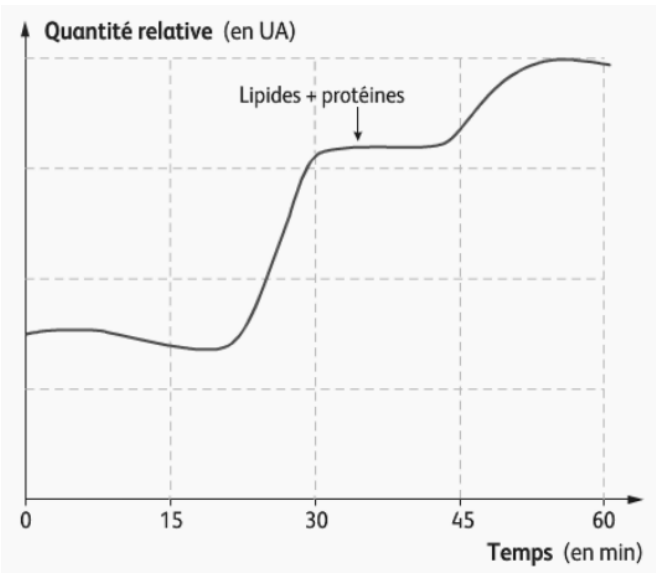
Document 1. Quantité d'ADN par cellule dans une culture de levures. Après la culture, les cellules sont incubées en présence d'iodure de propidium (IP) qui se fixe spécifiquement à l'ADN. L'IP peut être excité par un laser bleu (488 nm), sa fluorescence est alors proportionnelle à la quantité d'ADN contenu dans la cellule. La fluorescence est mesurée cellule par cellule grâce à la technique de cytométrie en flux.

Temps (en heure)	Quantité d'ADN (unités de fluorescence)
0	395
1	410
2	210
6	195
10	201
11	257
13	311
16	401
18	396
21	389
22	202
24	199
29	220

Document 2. Quantité moyenne d'ADN par cellule dans une culture de levures synchrones. Après mise en culture des cellules, leurs divisions cellulaires sont synchronisées grâce à des agents chimiques.



Document 3. Masse et volume moyens d'une cellule de levure au cours de la phase G_1.



Document 4. Mesure de la quantité relative de lipides et de protéines dans une cellule de levure au cours de la phase G_1.

CHAPITRE IV : Les mécanismes de l'expression génétique

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Déduire	Utiliser le code génétique pour transformer manuellement une séquence d'ADN codant, d'ADN non codant, ou d'ARN, en séquence d'acides aminés		9		
Légender	Légender une molécule d'ADN en cours de transcription		10		
Légender	Légender une molécule hybride ADN/ARNm		11		
Légender	Légender une molécule d'ARNm en cours de traduction		12		
Comparer	Utiliser Geniegen 2 pour convertir et comparer des séquences moléculaires	7			
Présenter	Utiliser Libmol pour mettre en évidence un acide aminé particulier dans un polypeptide	7			
Déduire	Déduire les liens de cause à effets entre le génotype et les différentes échelles du phénotype (moléculaire, cellulaire, macroscopique)	7		3	

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Le mécanisme moléculaire de la transcription	
Le mécanisme moléculaire de la traduction	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● De l'ADN à la protéine

Montrez que le transfert de l'information génétique de l'ADN à la protéine nécessite un double changement : de localisation et de nature chimique. *Votre réponse devra être structurée et illustrée.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Réplication et transcription

La réplication et la transcription sont deux mécanismes permettant de recopier l'information génétique située sur l'ADN. Vous comparerez ces deux mécanismes à l'échelle moléculaire et les replacerez dans leurs contextes biologiques. *Votre synthèse devra comporter un plan bien structuré et un schéma.*

Leçon 8 : Les ARNm, des messagers de l'information

Le découplage transcription/traduction

Les ..... sont le principal produit de l'expression du génome. Elles sont synthétisées dans le ..... (ou dans les autres organites) à partir de 20 sortes d'acides aminés. En dehors des périodes de mitose l'information génétique nécessaire à cette production reste cependant toujours dans le ..... des cellules eucaryotes. Les protéines ne sont donc pas produites directement à partir de l'ADN, mais à partir d'autres acides nucléiques porteurs temporaires de l'information génétique : les ..... .

La synthèse des ARNm à partir de l'ADN s'appelle la ..... tandis que la synthèse des protéines à partir des ARNm s'appelle la ..... . La compartimentation de la cellule ..... impose un découplage entre ces deux processus. Ce qui n'est pas le cas chez les ..... où, du fait de l'absence d'enveloppe nucléaire, la ..... d'un ARNm peut commencer alors que sa ..... n'est pas encore terminée.

Le mécanisme de la transcription

Lorsqu'un gène s'exprime une enzyme appelée ..... produit une molécule d'ARN en utilisant comme matrice un seul des deux brins d'ADN sur une portion limitée du chromosome. Chez les eucaryotes celle-ci ne contient généralement qu'un seul ..... .

Le brin d'ARN qui en résulte, appelé ARN pré-messager, est ..... du brin d'ADN qui a servi de matrice. Ce brin d'ADN est dit ..... , alors que l'autre brin d'ADN, complémentaire au brin transcrit, est dit ..... puisque sa séquence est analogue à celle du brin d'ARN synthétisé. Plusieurs ARN polymérases parcourent en même temps le même ..... et produisent ainsi de nombreuses copies de celui-ci.

L'ARN est chimiquement un peu différent de l'ADN : la base azotée thymine (T) y est remplacée par de l'..... et le désoxyribose par le ..... (les nucléotides de l'ADN sont des désoxyribonucléotides alors que les nucléotides des ARN sont des ribonucléotides). Il est aussi structuralement différent puisqu'il est toujours ..... brin alors que l'ADN est toujours double brin.

La maturation et l'exportation

L'ARN pré-messager subit une maturation au cours de laquelle se produit un processus appelé ..... consistant à supprimer des morceaux de séquences appelées ..... . Les séquences conservées s'appellent les ..... . Il en résulte un ARN messager ou ARNm. Celui-ci est transporté par des protéines à travers les pores nucléaires vers le ..... , c'est l'étape de l'..... .

Définitions

Maturation : Chez les eucaryotes, ensemble des modifications de l'..... avant son exportation.

Région codante : Portion d'une séquence de ..... qui peut être effectivement traduite en une séquence d'..... par un ribosome.

Leçon 9 : Le code génétique et la traduction

Le code génétique

La traduction est l'étape de synthèse du ..... . La polymérisation des acides aminés est catalysée par le ..... qui utilise ..... comme matrice. L'ordre des ..... sur le polypeptide est strictement déterminé par l'ordre des ..... sur l'ARNm : ces deux types de séquences sont ..... . Les règles de correspondance entre elles sont décrites par le ..... . Celui-ci possède trois propriétés remarquables :

– L'universalité : Il est ..... chez presque tous les êtres vivants.
– L'univocité : Chaque ..... correspond à un unique ..... .
– La redondance : Un ..... peut correspondre à plusieurs ..... .

Le mécanisme de la traduction

Les codons ne se chevauchent pas, il existe donc théoriquement pour une même séquence ..... façons différentes de regrouper les nucléotides et de les lire. Le ribosome est recruté au début de l'ARNm et balaie la séquence de l'ARNm jusqu'à ce qu'il trouve un triplet ..... . Celui-ci correspond alors au codon d'..... , il détermine le cadre de lecture et démarre la traduction par une méthionine (Met).

Lors de l'..... le ribosome avance de codon en codon et ajoute à chaque fois au polypeptide en cours de synthèse l'unique acide aminé correspondant au codon lu. Il n'y a pas de complémentarité entre les ..... de l'ARNm et les acides aminés, la correspondance est assurée par des molécules intermédiaires (ARNt). La traduction se finit aux codons de ..... UAG, UGA, ou UAA.

La ..... correspondant au codon d'initiation est souvent supprimée après la traduction. Un même ARNm est traduit simultanément par plusieurs ..... qui se suivent les uns derrière les autres, cela amplifie donc la synthèse des polypeptides. Certaines protéines sont formées de plusieurs chaines ..... .

Les échelles du phénotype

Le ..... se réalise grâce aux informations contenues dans le génotype, mais l'..... de celles-ci est régulée par des facteurs internes (état de la cellule, communication intercellulaire) et externes (conditions de l'environnement). Ce processus d'expression peut être décomposé selon quatre niveaux successifs :

1. Le génotype : Ce sont les ..... portées par les allèles présents dans les cellules de l'organisme.
2. Le phénotype moléculaire : Ce sont les ..... synthétisées par les cellules de l'organisme.
3. Le phénotype cellulaire : Ce sont les ..... observables à l'échelle des cellules.
4. Le phénotype macroscopique : Ce sont les caractères à l'échelle de l'..... entier.

Définitions

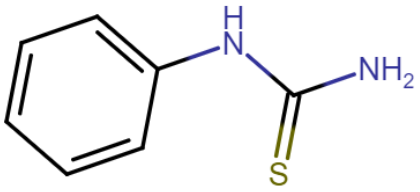
Codon : Triplet conforme au cadre de lecture d'une région ..... de l'ARNm.

Code génétique : Table de correspondance entre les ..... et les acides aminés ainsi que les signaux d'..... et de ..... .

Ribosome : Enzyme permettant la ..... d'un ARNm en un polypeptide.

Cadre de lecture : Manière de regrouper en triplets successifs les ..... d'une séquence d'ADN ou d'ARN.

TP 7 : La sensibilité à l'amertume du chou (2 h)



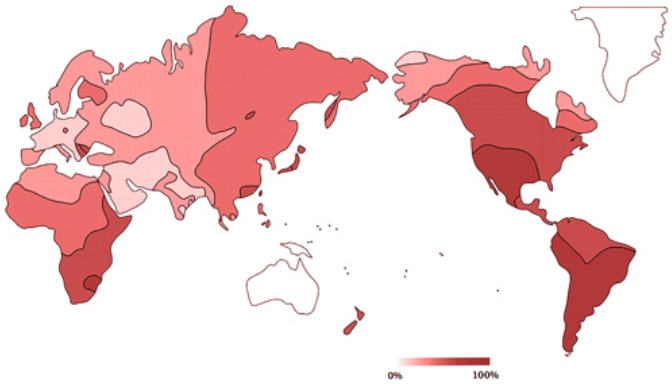
La formule chimique du phénylthiocarbamide

Le **phénylthiocarbamide** (PTC) est une molécule produite par certaines plantes comme le brocoli ou le chou de Bruxelles. Certaines personnes perçoivent cette substance comme amère tandis que d'autres ne lui trouvent aucun gout. Ces phénotypes s'expliquent en grande partie grâce à un seul gène du nom de *TAS2R38* et qui ne possède qu'un seul exon de 1 002 nucléotides. Il existe deux allèles très répandus, PAV et AVI. Six autres allèles rares existent. La protéine TAS2R38 est un polypeptide transmembranaire. **Montrez comment des génotypes distincts causent ces phénotypes variés en vous appuyant sur les différentes échelles du vivant, du microscopique au macroscopique.**

Matériel : Bandelettes témoins et imprégnées de PTC ; Gobelets en plastique rempli d'eau ; Logiciel Geniegen 2 ; Logiciel Libmol avec les fichiers « TAS2R38-AVI.pdb » et « TAS2R38-AAI.pdb » ; Logiciel LibreOffice Writer ; Imprimante couleur.

Génotype	(PAV//PAV)	(PAV//AVI)	(AVI//AVI)
Phénotype	[très sensible]	[sensible]	[insensible]

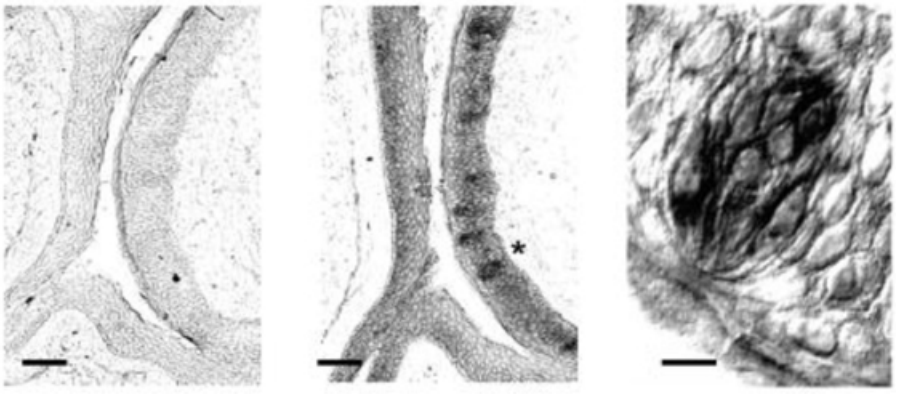
Document 1. Association des génotypes aux phénotypes de sensibilité à l'amertume du PTC.



Document 2. Carte mondiale de la fréquence de l'allèle PAV de sensibilité au PTC.

Population	PAV	AVI	AAV	AVV	PAI	PVI	AAI	PVV
Tous	50,76 %	42,70 %	2,48 %	0,32 %	0,18 %	0,07 %	3,39 %	0,10 %
Africains	50,76 %	35,18 %	0,61 %	0,08 %	0,00 %	0,15 %	13,22 %	0,00 %
Asiatiques	64,51 %	35,31 %	0,00 %	0,17 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Européens	45,66 %	49,22 %	3,56 %	0,49 %	0,32 %	0,03 %	0,55 %	0,17 %
Américains	68,61 %	26,69 %	2,26 %	0,00 %	0,00 %	0,19 %	2,26 %	0,00 %

Document 3. Distribution des différents allèles de *TAS2R38* sur chaque continent.

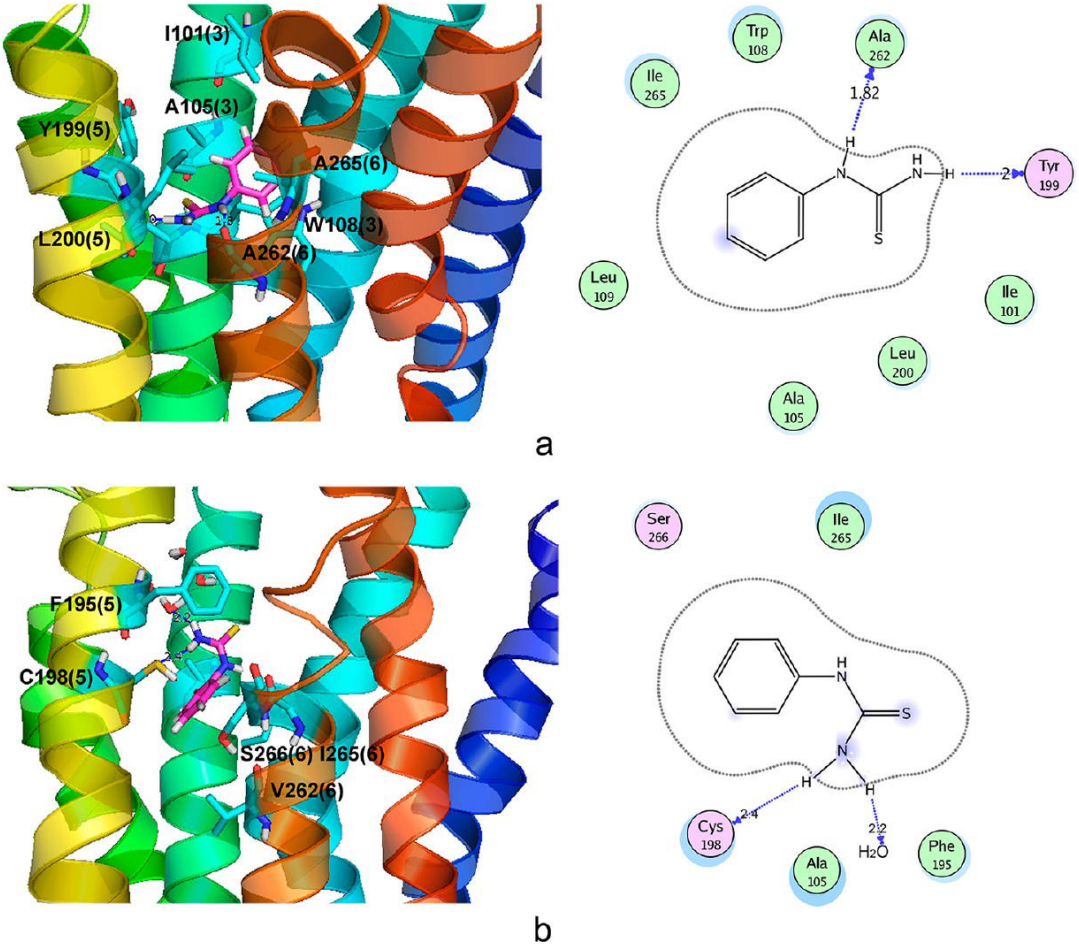

Document 4. Détection de l'expression de *TAS2R38* dans une papille de langue humaine en microscopie optique. À gauche témoin sans coloration. Au milieu et à droite coloration des ARNm de *TAS2R38*. Les barres de gauche et du milieu représentent 100 µm, la barre de droite représente 10 µm. L'astérisque dans l'image du milieu pointe le bourgeon du gout visible à plus fort grossissement à droite. Les cellules sensorielles des bourgeons sont reliées à des fibres nerveuses.

1) Quelles propriétés des allèles sont mises en évidence par le **document 1** ? Que montrent les **documents 2 et 3** ? Quelles hypothèses pouvez-vous formuler ? D'après le **document 4**, où sont exprimées les protéines TAS2R38 ?

2) Posez la bandelette témoin sur votre langue pour la gouter puis jetez-la. Vous ne devriez ressentir aucune amertume. Rincez-vous la bouche avec le gobelet d'eau. Faites de même avec la bandelette test, et qualifiez votre sensation : « pas amer » (similaire au témoin) ; « amer » ; « très amer ». Rincez-vous la bouche même si vous n'avez rien ressenti.

Position du **nucléotide**	Changement de **nucléotide**	Position du **codon**	Changement de **codon**	Position de l'**acide aminé**	Changement **d'acide aminé**
	→		→		→
	→		→		→
	→		→		→

Document 5. Différences entre les allèles PAV et AVI du gène *TAS2R38*.



Document 6. Simulation informatique de l'interaction entre le PTC et le récepteur TAS2R38. Les flèches indiquent des liaisons hydrogène hypothétiques avec leur longueur en ångströms (un Å vaut 100 picomètres). Une véritable liaison hydrogène mesure entre 1,6 et 2 Å. (a) Variant PAV ; (b) Variant AVI.

3) Utilisez **Geniegen 2** pour comparer les séquences des allèles PAV et AVI (cherchez « PTC » dans la banque de séquences du logiciel). Traduisez les séquences en protéines et comparez-les également. Complétez ainsi le **document 5**. Trouvez une justification aux noms des deux allèles.

4) Il a été rapporté que les rares homozygotes (AAI//AAI) perçoivent l'amertume. Qu'est-ce que ce résultat suggère ? Cette hypothèse est-elle confirmée par le **document 6** ?

5) Utilisez **Geniegen 2** pour faire une capture d'écran de l'acide aminé muté impliqué dans la fixation du PTC. Collez-la dans un nouveau document avec LibreOffice Writer.

6) Utilisez **Libmol** pour mettre en évidence la présence ou l'absence de l'acide aminé capable de fixer le PTC dans les deux variants disponibles de la protéine TAS2R38 (récupérez les fichiers sur le réseau du lycée). Colorez par exemple toute la molécule avec une certaine couleur (blanc), et l'acide aminé en question avec une autre couleur. Faites des captures d'écran et collez-les dans votre document ouvert avec LibreOffice Writer. Rognez les images, ajoutez des titres et des légendes. Imprimez votre travail.

7) **Bilan :** Résumez aux différentes échelles du vivant comment se réalisent les phénotypes étudiés.

Exercices d'application

Exercice 9 : Décodage à la main

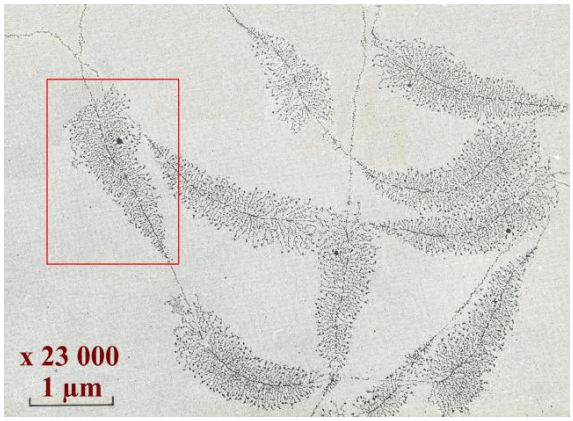
Transcrivez la séquence d'ADN non codant ci-dessous en ARN, puis à l'aide du code génétique de votre manuel (p. 93) traduisez-la en une séquence d'acides aminés (il n'y a pas d'intron). Faites de même avec la séquence mutée. Expliquez quelles sont les conséquences de la mutation.

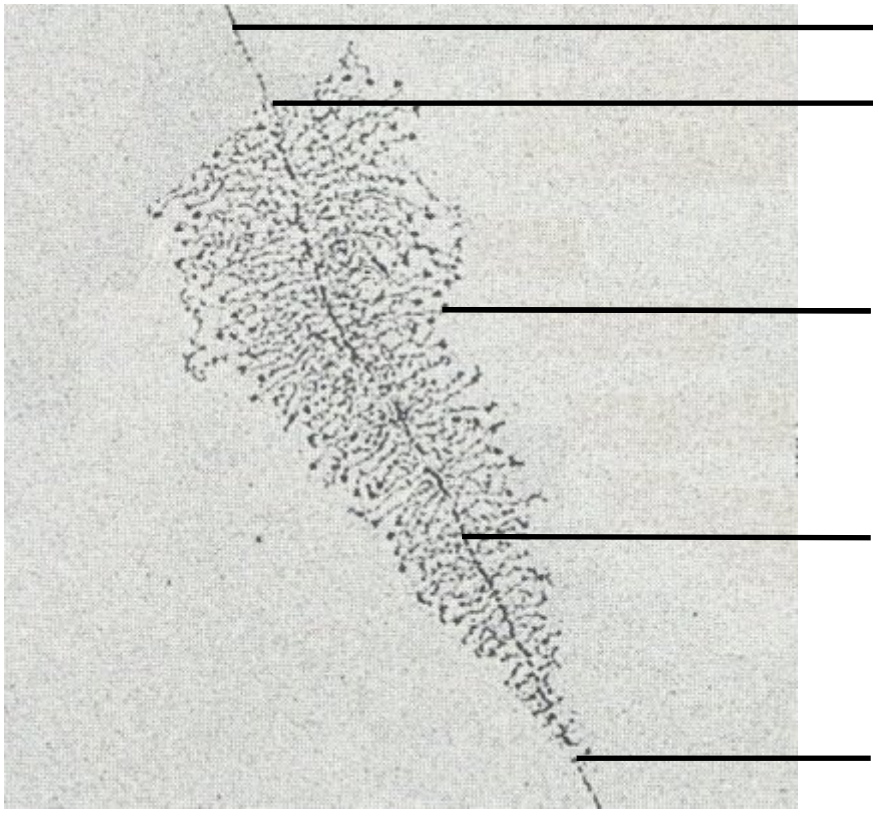
Séquence originelle : `TACAAACTCCCCTCTCTTTGGAGCATT`

Séquence mutée : `TACTAAACTCCCCTCTCTTTGGAGCATT`

Exercice 10 : La transcription au microscope

À l'aide de vos connaissances, déterminez le nombre de gènes visibles sur la 1re photographie et légendez la 2e.



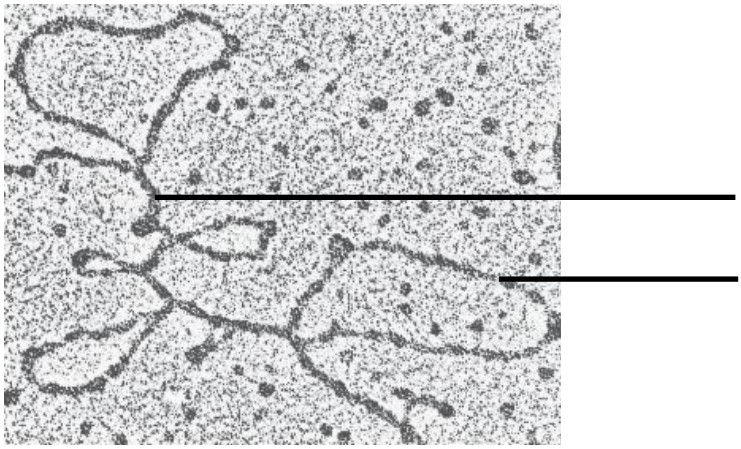


Document. Photographies prise au microscope électronique à transmission (MET) de la chromatine étalée du noyau d'un ovocyte de triton du genre *Pleurodeles*. Le 2e cliché correspond au cadre zoomé sur le 1er.

Exercice 11 : Les conséquences d'un épissage

Des chercheurs ont isolé le gène de l'ovalbumine (principale protéine du blanc d'œuf) à partir de cellules de poulet. Ils ont ensuite séparé les deux brins d'ADN de ce gène. Puis le brin transcrit a été mis en présence de l'ARNm mature correspondant à ce même gène, formant ainsi une molécule hybride ADN/ARNm. Enfin, le résultat a été observé au microscope électronique à transmission (MET).

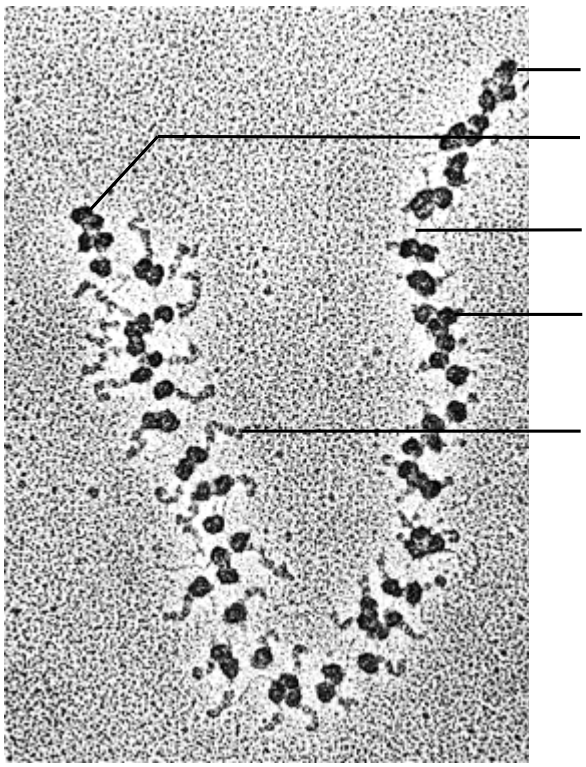
1) Décrivez les structures observées, interprétez-les sachant qu'à cette échelle il est impossible de distinguer les brins isolés et les brins associés par deux, et légendez-les en conséquence.
2) Expliquez pourquoi le résultat de cette expérience démontre l'existence d'un épissage chez les eucaryotes.
3) Faites un schéma de la molécule hybride associant un ARNm épissé et le brin transcrit du gène correspondant en mettant bien en évidence les séquences introniques et exoniques.
4) L'expérience aurait-elle fonctionné avec le brin d'ADN non transcrit de ce gène ? Pourquoi ?



Document. **Photographie prise au MET montrant l'association d'un brin d'ADN et d'un brin d'ARNm d'ovalbumine.**

Exercice 12 : La traduction au microscope

Le cytoplasme de cellules en interphase a été extrait et fractionné pour éliminer les organites et les petites molécules, puis a été étalé pour réaliser une observation au microscope électronique à transmission (MET). Le résultat a été photographié. **Légendez-le**.

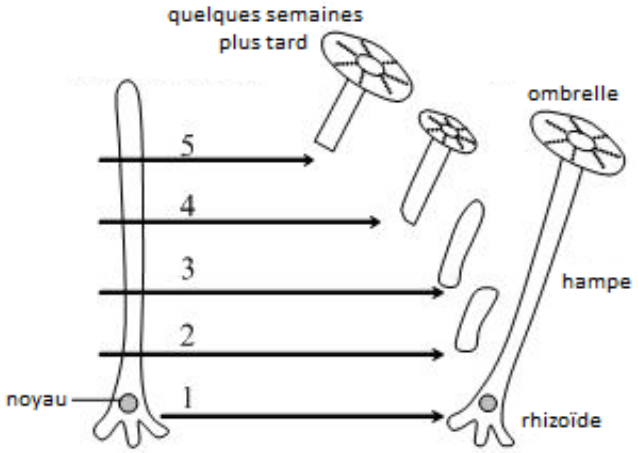


Document. **Photographie au MET d'un ARNm en cours de traduction par plusieurs ribosomes.**

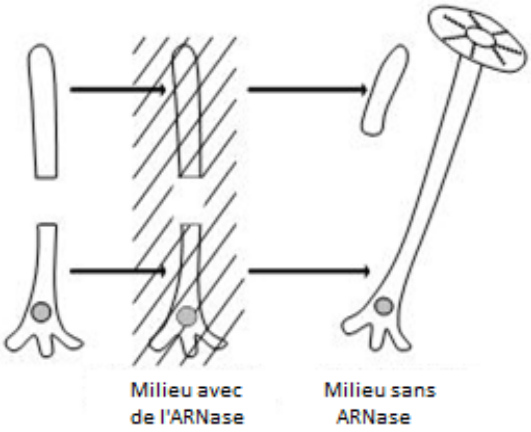
Étude de documents 3 : L'expression génétique chez l'acétabulaire

Les acétabulaires, du genre *Acetabularia*, sont des algues vertes unicellulaires centimétriques (voir photographie ci-contre) appartenant au règne des plantes, ou Plantae. Leur complexité morphologique et leur grande taille malgré leur unicellularité en font un modèle d'étude privilégié pour comprendre la régulation de l'expression génétique dans la morphogenèse. **À partir des informations tirées des documents suivants et de vos connaissances, expliquez les modalités du développement de l'ombrelle chez les acétabulaires.** *Un schéma bilan est attendu.*

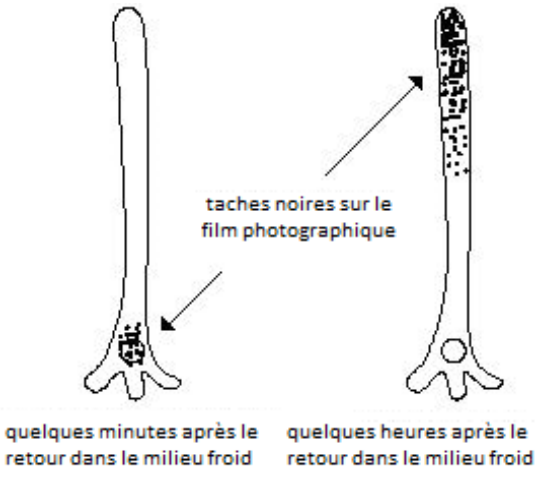
***Acetabularia acetabulum* dans son milieu naturel.**



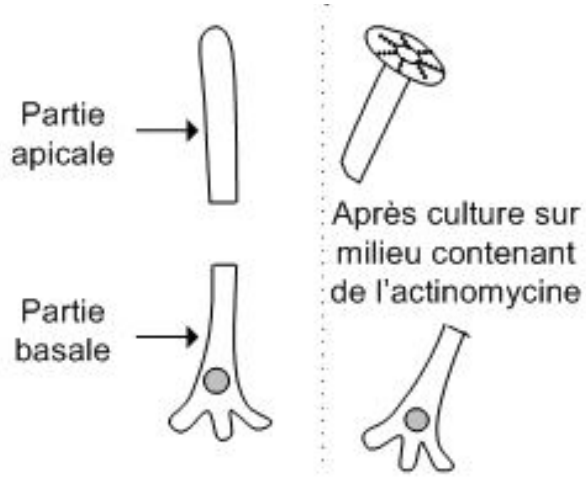
<u>Document 1.</u> Le pouvoir de régénération des acétabulaires. Une jeune acétabulaire (qui n'a pas encore de chapeau) est sectionnée en 5 tronçons mis en culture séparément. On suit leur croissance.



<u>Document 2.</u> L'effet d'un traitement à l'ARNase. Une jeune acétabulaire (qui n'a pas encore de chapeau) est sectionnée en deux parties qui sont mises à incuber dans un milieu contenant de l'ARNase (enzyme qui catalyse la dégradation des ARN). Puis ces deux parties sont retirées de ce milieu, lavées et remises dans un milieu sans ARNase. On suit leur croissance.



<u>Document 3.</u> Le devenir de l'uracile chez les acétabulaires. Une jeune algue est cultivée en présence d'uracile tritiée (radioactive). Après retour en milieu non radioactif, la radioactivité est détectée grâce aux taches noires qu'elle laisse sur un film photographique.



<u>Document 4.</u> L'effet de l'actinomycine sur une acétabulaire. On cultive les deux parties d'une même algue en présence d'actinomycine. Cette molécule est utilisée en médecine comme antibiotique et anticancéreux.

CHAPITRE V : Mutations et évolution

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Manipuler	Mettre en culture des microorganismes en respectant des conditions de stérilité et de sécurité	8			
Calculer	Collecter des résultats de mutagenèse dans un tableau et calculer des taux de mutation et des taux de survie	8			
Construire	Représenter un processus de dégradation et de réparation de l'ADN menant à la fixation d'une mutation		13, 14, 15		
Construire	Construire un arbre phylogénétique à partir d'une matrice de distances génétiques	9			
Comparer	Utiliser Geniegen 2 pour convertir et comparer des séquences moléculaires	9			

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Le processus de sélection naturelle avec plusieurs étapes figurant l'hérédité, la variabilité et le tri dans une situation concrète	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● L'évolution des populations

En vous appuyant sur des exemples précis expliquez par quels mécanismes les espèces se transforment au cours du temps. Vous devez traiter de l'apparition des mutations et leur devenir au sein des différentes lignées cellulaires, mais les mécanismes moléculaires détaillés provoquant les mutations ne sont pas attendus. *Votre réponse inclura obligatoirement une illustration et il comportera une introduction brève, un développement en plusieurs parties et une conclusion.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Mutation du gène d'une enzyme

Les enzymes, comme les autres protéines, sont le résultat de l'expression des gènes. **Montrez comment une erreur de réplication de l'ADN peut aboutir à la production d'une enzyme non fonctionnelle.** Le mécanisme moléculaire détaillé de la réplication n'est pas attendu. *Votre réponse inclura obligatoirement une illustration et il comportera une introduction brève, un développement en plusieurs parties et une conclusion.*

Leçon 10 : Les mutations et les mutagènes

Les erreurs lors de la réplication

La proximité entre les séquences des différents …… d'un même gène suggère qu'ils sont des versions modifiées d'une même séquence …… . Lorsque l'ADN polymérase synthétise un brin d'ADN, elle peut spontanément incorporer à une faible fréquence (environ 10^{-5}) un nucléotide non complémentaire à celui du brin matrice, ce sont des …… de réplication. Les deux nucléotides ne peuvent pas alors …… . L'ADN polymérase dispose d'une fonction lui permettant de détecter un tel …… au niveau du dernier nucléotide joint, de supprimer celui-ci, puis de continuer la polymérisation. Ce système de …… échoue cependant avec une fréquence d'environ 10^{-2}.

Les systèmes de réparation

Les cellules possèdent également plusieurs systèmes de …… spécialisés capables de détecter et de réparer des altérations de l'ADN comme les mésappariements, les cassures, etc. Par exemple, le système de réparation des mésappariements (SRM) …… les nucléotides incorrects sur le brin néosynthétisé et synthétise un nouveau fragment d'ADN complémentaire. Le SRM échoue toutefois avec une fréquence d'environ 10^{-2}. Cela signifie que si une nouvelle …… a lieu avant que la réparation ne soit effectuée, alors une information incorrecte est recopiée. Cela entraine une modification stable de la séquence : c'est une …… .

Les transformations chimiques de l'ADN

Les nucléotides ont une petite instabilité chimique naturelle, ce qui peut entrainer des lésions …… . Lorsqu'un nucléotide est modifié, l'…… n'est plus capable de le lire correctement et incorpore donc en face de celui-ci un nucléotide inapproprié.

L'ADN peut aussi être lésé par des agents …… pendant la phase S ou bien en dehors de celle-ci. Ceux-ci peuvent être de nature …… comme les rayonnements ionisants (UV, X, α, β, γ) qui peuvent endommager l'ADN en provoquant des transformations chimiques. Certains virus et certaines bactéries sont des mutagènes …… .

Des mutagènes de nature …… peuvent également réagir avec l'ADN et altérer les nucléotides présents. Certains sont des substances complémentaires de certains …… , ils peuvent donc être incorporés dans l'ADN en face de ceux-ci au moment de la réplication (il n'y a donc pas de mésappariement). Toutes ces substances appartiennent à la catégorie …… dans la règlementation en vigueur.

Les différents types de mutations

Une mutation est …… si elle ne touche qu'un seul gène. Si elle est de plus forte amplitude (duplication ou délétion de plusieurs gènes, fusion ou fragmentation des chromosomes, etc.) on parle de mutation …… . Les mutations géniques peuvent être des …… , des …… ou des …… de nucléotides. Si la mutation ne touche qu'un seul nucléotide elle dite …… .

Définitions

Lésion : Modification anormale de la …… de l'ADN d'une cellule.

Mutation : Modification irréversible et héréditaire de la …… d'ADN d'une cellule sans anomalie …… .

Leçon 11 : Lignées germinales et somatiques, et sélection naturelle

Le devenir des mutations

Toute cellule descend d'une autre ..... . Si le patrimoine génétique d'une cellule est muté, qu'elle survit et reste capable de se reproduire, alors elle transmettra cette mutation à ses cellules filles : la mutation est ..... . Une succession de cellules mères et de cellules filles forment une ..... .

Chez les animaux (toujours pluricellulaires) une cellule appartient à une lignée germinale si certaines cellules descendantes de cette lignée sont des ..... , pouvant ainsi participer à la formation d'un nouvel organisme. Les lignées cellulaires ne pouvant jamais aboutir à la production de gamètes sont qualifiées de ..... .

Une mutation ne pourra donc pas être transmise à la descendance de l'organisme si elle survient dans une cellule ..... . Au contraire une mutation ..... pourra être transmise à la descendance si un gamète porteur de celle-ci fusionne avec un gamète du sexe opposé. Cette distinction soma/germen est très nette chez les ..... , mais est inexistante chez d'autres organismes pourtant pluricellulaires comme les ..... . Une mutation précoce lors du développement d'un organisme dans l'une de ses lignées cellulaires peut aboutir à un organisme ..... .

La sélection naturelle et les antibiotiques

Les mutations sont toujours ..... , qu'elles soient spontanées ou induites par un ..... . Les mutations germinales sont de nouvelles variations ..... dans les populations. Parmi ces variations beaucoup sont désavantageuses, voire létales, mais quelques-unes sont au contraire ..... dans un environnement particulier.

Des mutations font par exemple apparaitre chez certaines bactéries des ..... aux antibiotiques. L'application d'un antibiotique sur une population bactérienne détruit les individus ..... . Cela trie donc les formes résistantes en permettant leur développement au détriment des formes sensibles avec lesquelles elles sont en ..... pour les nutriments, l'espace, etc.

L'utilisation systématique des antibiotiques peut donc augmenter la fréquence des formes ..... par le mécanisme de la ..... . Il est donc important de limiter l'utilisation des antibiotiques lorsque ceux-ci ne sont pas nécessaires afin de limiter l'entretien de populations bactériennes ..... .

Les mutations sont la source de la diversité des allèles, l'un des fondements de la ..... . La variabilité permet de ..... le patrimoine génétique alors que l'hérédité le transmet de manière ..... de génération en génération. L'..... exerce un tri sur les différents phénotypes en présence : il élimine les phénotypes inadaptés et favorise la reproduction des phénotypes adaptés. L'..... , la ..... , et le ..... sont les trois propriétés nécessaires et suffisantes qui expliquent la sélection naturelle.

Définitions

Sélection naturelle : Processus de transformation d'une ..... selon lequel les individus transmettent leurs caractères à leurs descendants avec des modifications ..... qui sont plus ou moins adaptées à leur ..... et qui leur permettent donc d'avoir plus ou moins de ..... portant ces caractères.

Mosaïque : État d'un organisme pluricellulaire composé de cellules ayant des ..... différents à cause d'une mutation somatique ou germinale.

Leçon 12 : Génome humain et histoire humaine

Le séquençage du génome humain

Le génome humain a été entièrement ..... pour la première fois au début des années 2000. Les génomes des donneurs ont été ..... aléatoirement en de nombreux petits fragments, puis chaque fragment a été ..... . Les séquences de ces fragments ont enfin été combinées grâce à un traitement informatique exploitant leurs ..... partiels.

Des méthodes de séquençage beaucoup plus ..... et beaucoup moins ..... ont depuis été mises au point, ce qui permet de comparer de nombreux génomes individuels. On peut ainsi reconstituer des liens de ..... .

Les migrations humaines

Les hommes modernes (*Homo sapiens*) ont migré hors d'..... il y a environ 60 000 ans. Les comparaisons entre les génomes actuels montrent que les ..... des allèles sont variables d'une population à l'autre. On peut ainsi calculer des ..... génétiques entre ces populations. Ces distances peuvent être présentés dans des ..... . Celles-ci permettent de reconstruire des arbres ..... respectant le mieux possible ces distances. Ces arbres peuvent être interprétés comme une histoire des ..... humaines.

En Eurasie les hommes modernes ont ..... d'autres espèces humaines comme l'homme de Néandertal (*Homo neanderthalensis*) et l'homme de Denisova (*Homo denisovensis*). Les techniques modernes de biochimie ont permis de ..... des fragments d'ADN dégradés et en faibles quantités dans certains restes anciens de ces espèces. Les comparaisons entre les génomes des hommes modernes et de ces espèces fossiles ont permis de montrer la présence d'allèles d'origine ..... chez les populations d'Europe, d'Asie et d'Océanie, et d'autres d'origine ..... chez les populations d'Océanie et d'Asie du Sud-Est.

La sélection naturelle de l'homme

Certaines variations du génome humain moderne produites par des mutations (tolérance au lactose à l'âge adulte) ou bien introduites par des ..... (rythme circadien) ont été sélectionnées car elles permettent ou ont permis une meilleure ..... à l'environnement local.

Définitions

Génome : Ensemble des molécules d'..... présentes dans une cellule.

Séquençage : Détermination de l'ordre des ..... dans un acide nucléique (ADN ou ARN).

Distance génétique : Estimation de la proportion de ..... séparant deux séquences d'ADN ou bien de la proportion de différences entre les fréquences des ..... dans deux populations.

Arbre phylogénétique : Diagramme représentant les relations évolutives entre des ..... ou des ..... .

Introgression : Transfert de gènes ou d'allèles d'une espèce vers le patrimoine génétique d'une autre espèce par ..... entre individus interféconds.

TP 8 : L'action mutagène des rayonnements UV (3 h)

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est un champignon unicellulaire haploïde. On s'intéresse au gène ade2 qui code pour une enzyme, l'AIR carboxylase, impliquée dans la chaine de biosynthèse de l'adénine. Elle transforme l'AIR en un autre composé organique, le CAIR. Les levures avec un allèle fonctionnel sont de génotype ($ade2^+$) et forment des colonies de couleur blanches donc de phénotype [blanc]. Les levures avec un allèle non fonctionnel, donc de génotype ($ade2^-$), ont un phénotype [rouge]. Ces souches ne peuvent plus transformer l'AIR en CAIR et sont donc auxotrophes pour l'adénine. De plus, l'AIR s'accumule dans les cellules et leur donne cette couleur rouge caractéristique.

On souhaite mettre en évidence le caractère mutagène des rayonnements UV. On dispose pour cela de levures ($ade2^-$) en suspension qu'il conviendra de mettre en culture sur des boites de Petri gélosées (milieu nutritif solide supplémenté en adénine) puis de les exposer à des rayonnements UV. Les mutants seront repérés grâce à leur phénotype [blanc].

1re Séance : Manipulation expérimentale (1 h 30)

Matériel : Boite à UV ; 6 boites de Petri contenant de la gélose ; Un marqueur indélébile pour écrire sur les boites ; Pissette d'eau de Javel pour le nettoyage ; Papier essuietout ; Bec électrique ; Étaleurs coudés stériles ; Poubelle de table ; Micropipette ; 3 cônes stériles ; Gants ; Masques ; Lunettes ; Chronomètres.

Suspension A : 1 mL de levures ($ade2^-$) à 10^6 ℄.mL^{-1} destinées à être exposées aux UV
Suspension B : 1 mL de levures ($ade2^-$) à 10^3 ℄.mL^{-1} destinées à servir de témoins (pas d'exposition aux UV)

Protocole :

1. Préparation
   a. Écarter ses affaires, se laver les mains au bureau du professeur avec le savon ou le gel hydroalcoolique
   b. Nettoyer votre paillasse avec la pissette d'eau de Javel et le papier essuietout
   c. Allumer le bec électrique (5 min de chauffage), mettre les masques, les gants, et les lunettes
   d. Sans ouvrir les boites de Petri, écrire **au dos en petit sur un côté** vos initiales et le temps d'exposition prévu
2. Ensemencement des boites (trois par binôme)
   a. **S'entrainer d'abord** à manipuler délicatement la micropipette avec de l'eau dans un petit bécher
   b. Déposer **100 µL** de suspension de levure (A ou B) sur la boite puis éjecter le cône usagé dans la poubelle
   c. Utiliser l'étaleur pour répartir les levures sur toutes la surface de la gélose
   d. S'arrêter d'étaler lorsque le liquide a été absorbé par la gélose, et refermer la boite au plus vite
3. Irradiation des levures aux UV
   a. Vérifier toujours d'abord que la lampe à UV est bien éteinte
   b. Mettre les boites de Petri dans la boite à UV, **enlever leurs couvercles**, fermer la boite à UV et irradier le temps prévu en utilisant le chronomètre **(0 s, 15 s, 30 s, 60 s, 90 s, ou bien 120 s)**
4. Incubation
   a. Vérifier toujours que la lampe à UV est bien éteinte, refermer les boites puis les retirer de la boite à UV
   b. Mettre les boites dans la caisse de collecte **couvercle vers le bas**
   c. Les boites seront mises à incuber 3 jours à 28 °C puis seront conservées à 4 °C au réfrigérateur

2e Séance : Exploitation des résultats (1 h 30)

Matériel : Ordinateur avec LibreOffice Calc ; Imprimante ; Marqueurs indélébiles ; Gants ; Vos boites de levures.

Protocole :

1. Récupérer ses boites et compter le nombre de colonies de phénotypes respectivement [rouge] et [blanc]
2. Récupérer les résultats des autres groupes et les mettre en forme dans un tableau sur l'ordinateur
3. Résumer statistiquement ces données en calculant les médianes pour chaque temps d'exposition
4. Calculer le pourcentage de survie des levures ainsi que le pourcentage de levures [blanc] parmi les levures survivantes
5. Mettre en forme son tableau et l'imprimer sur une seule page

Décrivez votre tableau, interprétez-le en faisant appel à vos connaissances pour formuler des hypothèses expliquant vos observations, et concluez quant aux effets potentiels des UV sur les organismes.

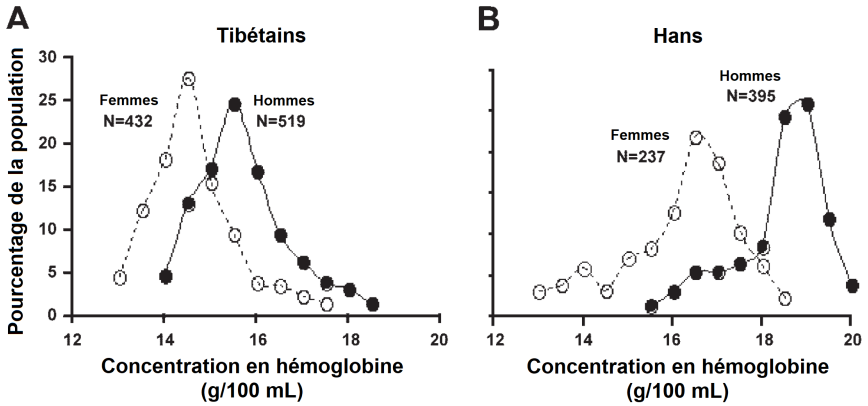
TP 9 : Les Tibétains et le mal chronique des montagnes (1 h 30)

Matériel : Ordinateur ; Imprimante ; Logiciel PhyloGraphe avec le fichier « EPAS1.fasta ».

Les Tibétains, vivant en permanence à au moins 3 000 m d'altitude, sont capables de fournir des efforts intenses et ne souffrent pas du mal chronique des montagnes. Le manque de dioxygène en haute altitude (dû à la raréfaction de l'air) provoque en effet une augmentation de la production d'hématies, ce qui augmente la viscosité du sang et induit des maux de tête et des nausées lors de la réalisation d'un effort ainsi qu'une augmentation des risques cardiovasculaires. **On cherche ici à expliquer l'origine de la résistance à cette affection particulière chez les Tibétains. On s'intéresse pour cela au gène *EPAS1* qui contrôle l'expression d'autres gènes parmi lesquels se trouve le gène *EPO* qui produit une hormone, l'érythropoïétine ou EPO, qui stimule la prolifération des hématies.**

1) Analysez le **doc. 1** et formulez une hypothèse permettant d'expliquer comment les Tibétains échappent physiologiquement au mal chronique des montagnes. **Peut-on expliquer cela par une adaptation de l'individu au changement d'environnement ?**

2) Ouvrez le fichier « EPAS1.fasta » avec PhyloGraphe et comparez les allèles majoritaire et minoritaire du gène *EPAS1* que l'on retrouve chez les tibétains ainsi que chez les Hans, l'espèce fossile de l'homme de Néandertal, et de l'ADN d'une dent fossile datée d'environ 84 à 55 ka qui a été retrouvée dans la grotte de Denisova (voir **doc. 2**). **Notez les différences. Combien d'allèles distincts peut-on compter ?**



Document 1. Distribution de la concentration en hémoglobine dans le sang de sujets vivant au Tibet à 4 500 m d'altitude. On compare les concentrations pour des femmes et des hommes des ethnies tibétaines et hans (immigrants d'autres régions de Chine). Les sujets sont âgés de 16 à 60 ans. L'hémoglobine est la protéine qui fixe le O_2 dans les hématies. Légende : N est l'effectif total.

Document 2. Localisation de la grotte de Denisova et du plateau tibétain.

3) Calculez les distances en utilisant la méthode appropriée, et construisez un arbre de parenté de ces séquences en utilisant la méthode NJ. **Recopiez le résultat. Qu'observe-t-on d'étonnant ? Quelles hypothèses peut-on formuler pour l'expliquer ?**

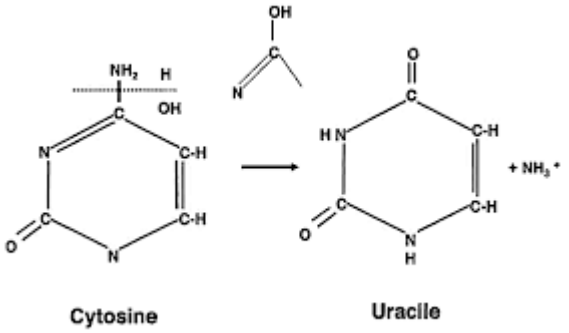
4) Pour tester l'une des hypothèses précédentes on cherche à connaitre précisément la position de l'homme de Denisova dans l'arbre phylogénétique des populations humaines. Dans PhyloGraphe cherchez dans la banque de séquences d'ADN « Populations de chimpanzés et d'hommes ». Construisez un arbre phylogénétique comme précédemment. **Interprétez le résultat. Les denisoviens appartiennent-ils à l'espèce de l'homme moderne ?**

5) En vous appuyant sur l'ensemble des éléments précédemment examinés, **élaborez un scénario permettant d'expliquer l'origine de la résistance au mal chronique des montagnes des Tibétains. Quelles nouvelles observations ou expériences pourrait-on mener pour tenter de confirmer ou d'infirmer ce scénario ?**

Exercices d'application

Exercice 13 : L'instabilité chimique de la cytosine

Dans l'ADN la cytosine est instable, elle se transforme parfois spontanément en uracile par désamination (voir document ci-contre). **Faites un schéma montrant qu'une telle lésion entraine une mutation si une réplication a lieu avant que celle-ci ne soit réparée.**

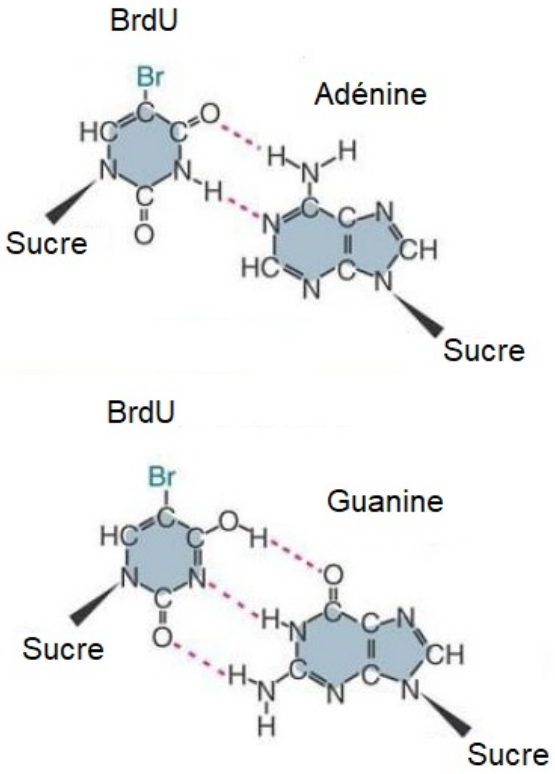


Document. La désamination de la cytosine.

Exercice 14 : Le BrdU, un analogue de nucléotide

La bromodésoxyuridine, ou BrdU, peut être incorporée par l'ADN polymérase dans le brin d'ADN en cours de synthèse à la place d'une thymine lorsqu'une adénine se trouve sur le brin matrice. Cependant, lorsque le BrdU est lu par une ADN polymérase sur le brin matrice en cours de réplication, celle-ci joint une guanine (voir document ci-contre).

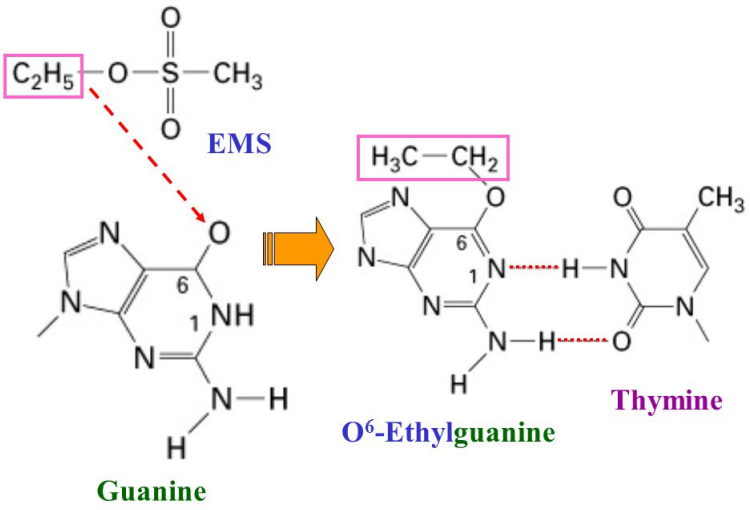
On considère une cellule répliquant une séquence d'ADN une fois dans un milieu riche en BrdU puis ses cellules-filles parcourent deux cycles cellulaires dans un milieu sans BrdU. **Faites un schéma de cette expérience montrant que l'asymétrie de la complémentarité de la BrdU peut entrainer une mutation.**



Document. Les appariements possibles du BrdU.

Exercice 15 : L'EMS et l'altération de l'ADN

Le méthanesulfonate d'éthyle ou EMS, est un composé organique mutagène réagissant avec la guanine de l'ADN. Elle se transforme alors en O^6-éthylguanine. L'ADN polymérase incorpore généralement une thymine en face de ce nucléotide modifié (voir document ci-contre). **Faites un schéma montrant qu'une telle lésion entraine une mutation si une réplication a lieu avant que celle-ci ne soit réparée.**



Document. L'altération de la guanine par l'EMS et l'appariement de l'O^6-éthylguanine avec la thymine.

CHAPITRE VI : Le système immunitaire humain

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Manipuler	Réaliser une immunodiffusion (radiale ou double) permettant de détecter la présence d'anticorps ou d'antigènes	10			
Manipuler	Simuler la propagation d'un agent infectieux dans des populations ayant des couvertures vaccinales différentes	11			
Comparer	Utiliser Geniegen 2 pour mettre en évidence les régions variables et constantes des chaines des anticorps	10			
Présenter	Utiliser Libmol pour montrer l'organisation structurale d'un anticorps	10			
Déduire	Déduire la fonction d'un élément (molécule, cellule ou organe) du système immunitaire par l'analyse d'une expérience		16		
Calculer	Calculer un seuil d'immunité de groupe		17		

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Une phagocytose impliquant des PAMP et des PRR	
Présentation par un APC (DC ou Macrophage) d'un antigène sur son CMH, sélection d'un LT naïf ayant un TCR capable de le reconnaitre, costimulation par l'IL-2, prolifération et différenciation en LTh (LT4) ou LTc (LT8)	
Internalisation d'un antigène reconnu par le BCR d'un LB, présentation du complexe CMH-antigène à un LTh, activation du LB par le LTh, prolifération et différenciation du LB en plasmocytes produisant des anticorps	
Comparaison des processus d'ADCP et d'ADCC	
Classification chevauchante des leucocytes : sanguins, sentinelles, phagocytes, cytotoxiques, APC, etc.	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● La grippe et la réponse immunitaire

La grippe est une maladie fréquente causée par un virus de type *influenza* qui s'attaque au système respiratoire en infectant les pneumocytes. Elle est très contagieuse et est à l'origine d'épidémies saisonnières chaque hiver. **Montrez comment les lymphocytes T coopèrent pour éliminer les cellules de l'organisme infectées par le virus de la grippe.** Vous ne détaillerez pas la réaction immunitaire adaptative humorale, mais vous veillerez bien à expliciter les éléments de la réaction immunitaire innée qui permettent l'activation des lymphocytes T. *Votre réponse devra obligatoirement inclure une illustration et suivre une structure comprenant une introduction brève, un développement et une conclusion.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Les plasmocytes et la production d'anticorps

Les plasmocytes sont des globules blancs spécialisés dans la production d'anticorps circulants, ils sont issues de la différenciation des lymphocytes B naïfs qui ont internalisé un antigène étranger et qui ont été activés par des lymphocytes T auxiliaires après le leur avoir présenté. **Après avoir décrit la structure et les modes d'action d'un anticorps, expliquez comment ceux-ci sont produits à partir des gènes du plasmocyte.** *Il est nécessaire que votre synthèse soit structurée par un plan clairement organisé et accompagnée d'un schéma.*

Leçon 13 : L'immunité innée

Les caractéristiques de l'immunité innée

Le système immunitaire comprend des organes, des cellules, et des molécules qui assurent l'intégrité de l'organisme en distinguant le ..... du non-soi et en détruisant les éléments de ce dernier comme les agents infectieux (bactéries, virus, champignons, parasites) ou les cellules cancéreuses. L'immunité ..... existe chez tous les animaux. Elle repose sur des mécanismes ..... déterminés, présents dès la ..... , se déclenchant ..... , et ne nécessitant aucun ..... préalable. De plus ceux-ci ont été très ..... au cours de l'évolution.

La peau est le premier organe de l'immunité innée puisqu'elle constitue une barrière ..... qui protège les tissus internes. Des cellules ..... portant des récepteurs de reconnaissance des pathogènes (PRR) résident en permanence dans les ..... (ne circulent pas dans le sang). Outre les mastocytes, ces sentinelles incluent les cellules dendritiques (DC) et les ..... qui sont capables de ..... les agents porteurs de certains motifs moléculaires bien conservés associés aux pathogènes (PAMP) comme les parois bactériennes.

Le déclenchement de la réaction inflammatoire aigüe

La reconnaissance des PAMP par les PRR des phagocytes initie l'expansion de ..... autour de la particule étrangère. Celle-ci est alors internalisée dans un ..... qui fusionne ensuite avec de nombreux ..... contenant des enzymes digestives (comme les lysozymes qui détruisent les parois bactériennes).

Les cellules sentinelles ayant détecté des particules étrangères secrètent des médiateurs chimiques comme les ..... , les ..... et l'..... . Ces molécules peuvent aussi être libérées par des tissus ..... . Cela provoque les quatre symptômes ..... de la réaction inflammatoire aigüe : une vasodilatation qui augmente localement l'afflux de sang (ce qui entraine ..... et .....), une augmentation de la perméabilité de l'endothélium qui permet le transfert de plasma sanguin dans les tissus (ce qui entraine un .....), une activation des nocicepteurs (ce qui entraine une .....).

Les interleukines entrainent aussi une expression de molécules d'adhérence sur les vaisseaux sanguins. Les leucocytes circulants s'y accrochent puis pénètrent dans le tissu infecté par ..... , ce qui augmente la quantité de leucocytes phagocytant les particules étrangères comme les granulocytes ..... . Les monocytes provenant du sang se différencient en ..... ou en ..... à la suite de leur première phagocytose et sous l'influence des interleukines.

L'issue de la réaction inflammatoire aigüe

La réaction inflammatoire cesse normalement lorsque tous les agents infectieux ont été ..... . Si l'infection persiste les cellules dendritiques et certains macrophages migrent dans les ganglions lymphatiques où résident des ..... . La réaction inflammatoire aigüe prépare donc le déclenchement de l'immunité ..... .

Une réaction inflammatoire peut également être pathologique : d'intensité trop importante ou de durée trop prolongée, elle peut ..... les tissus enflammés, voire causer la mort. Les médicaments anti-inflammatoires permettent de la réduire en inhibant des ..... de la chaine de biosynthèse des ..... .

Définitions

Soi : Ensemble des constituants qui ne déclenchent pas de réponse ..... de la part d'un organisme.
Interleukine : Petite ..... soluble sécrétée par les cellules du système ..... qui est impliquée dans la communication cellulaire par le biais de récepteurs membranaires spécifiques.

Leçon 14 : L'immunité adaptative cellulaire

Les caractéristiques de l'immunité adaptative

L'immunité adaptative est propre aux ..... (vertébrés à mâchoires). Elle s'ajoute à l'immunité ..... . Elle est plus lente car elle nécessite un ..... . Elle est en effet ..... d'un agent particulier du non-soi. Elle fait intervenir les ..... et les organes lymphoïdes.

La présentation de l'antigène au TCR

Toutes les cellules du corps expriment à leur surface des protéines membranaires appelées ..... permettant de présenter des ..... . Les cellules dendritiques (et les macrophages) sont capables de migrer dans les ganglions lymphatiques et de présenter aux ..... des antigènes du ..... , ce sont donc des cellules présentatrices d'antigènes (APC).

Chaque LT possède à sa surface un récepteur différent, généré ..... , appelé TCR (*T cell receptor*) capable de reconnaitre spécifiquement un seul ..... . Un antigène présenté par un APC n'est donc ..... que par certains LT seulement (sélection clonale positive). Ces LT sont alors activés : ils se multiplient (amplification clonale) et se ..... .

La différenciation des lymphocytes T

Il existe deux populations de LT naïfs : les LT CD4+ et les LT CD8+ qui s'appellent ainsi à cause de la présence des marqueurs membranaires CD4 et CD8 respectivement. Lorsqu'ils se différencient les LT4 naïfs deviennent des lymphocytes T ..... (LTh pour *helper*), tandis que les LT8 naïfs deviennent des lymphocytes T ..... (LTc). Les LTh et les LTc sont des cellules ..... . Une partie des LT4 et des LT8 se différencient en LT ..... à longue durée de vie.

Les LT naïfs ont aussi besoin d'interleukine 2, ou IL-2, pour ..... et se ..... , qu'ils perçoivent grâce à un récepteur spécifique. L'IL-2 est produite par les ..... lorsque le TCR de ceux-ci reconnait un complexe CMH-antigène présenté par une ..... . Les LT4 sont donc capables de s'autostimuler et de stimuler les ..... . Lorsque les TCR des LTc reconnaissent un complexe CMH-antigène à la surface d'une cellule (cellule infectée par un virus par exemple), elles libèrent des substances toxiques qui ..... la cellule-cible.

Définitions

Organe lymphoïde : Organe assurant la prolifération, le stockage, ou la maturation des ..... (thymus, moelle osseuse, rate, ganglions lymphatiques, etc.).

Antigène : Molécule pouvant être reconnue par un récepteur de l'immunité adaptative de la famille des ..... (TCR, BCR, ou anticorps).

Leçon 15 : L'immunité adaptative humorale

La production d'anticorps circulants

De manière semblable aux lymphocytes T, chaque lymphocyte B possède à sa surface un récepteur différent, généré ..... , appelé BCR (*B-cell receptor*). Ce récepteur est en fait un ..... membranaire capable de reconnaitre un seul ..... . Chaque BCR possède ..... sites de reconnaissance identiques. Un antigène, libre ou à la ..... d'un agent pathogène, n'est donc reconnu que par certains LB (sélection clonale positive). Ces LB internalisent alors l'..... et le présente sur leur propre ..... . Les LB naïfs sont donc des ..... capables d'activer des LT naïfs.

Les ..... capables de reconnaitre l'antigène sur le CMH d'un LB naïf peuvent activer ce dernier. Les LB activés prolifèrent (amplification clonale) et se différencient en ..... (cellules effectrices à courte durée de vie) et en LB ..... (à longue durée de vie). Les plasmocytes produisent alors d'abondantes quantités d'anticorps circulants dont la partie variable est ..... à celle des BCR qu'ils portaient. Comme les BCR, les anticorps circulants possèdent ..... sites de reconnaissance identiques.

Les modes d'action des anticorps

Les anticorps permettent d'immobiliser les agents infectieux par exemple en se fixant sur les ..... bactériens ou bien de les ..... (comme les virions) : un complexe antigène-anticorps s'appelle un complexe ..... . La formation de complexes immuns peut entrainer une réaction d'..... .

Les macrophages et les granulocytes ..... peuvent reconnaitre la partie ..... des anticorps grâce à des récepteurs membranaires, ce qui facilite la ..... : c'est ce qu'on appelle l'ADCP (*antibody-dependent cellular phagocytosis*). Les cellules ..... et les granulocytes ..... peuvent également reconnaitre la partie invariable des anticorps et libérer des substances toxiques permettant de tuer les cellules étrangères (parasites eucaryotes, cellules cancéreuses, cellules infectées par un virus) : c'est l'ADCC (*antibody-dependent cell-mediated cytotoxicity*).

Les cellules NK (*natural killer*) sont des lymphocytes intervenant également dans l'immunité ..... puisqu'ils sont capables de détruire toute cellule ne présentant pas de ..... à sa surface. L'ADCP et l'ADCC sont donc des formes de ..... entre l'immunité adaptative et les mécanismes de l'immunité innée (phagocytose et cytotoxicité naturelle).

Définitions

Agglutination : Agglomération de particules portant un ..... particulier en un amas insoluble grâce à des anticorps spécifiques formant des ..... entre ces particules.

Leçon 16 : Les vaccins et l'immunothérapie

La mémoire immunitaire

La mémoire immunitaire est constituée de LT mémoires et de LB mémoires produits lors de la réaction ..... . De plus certains plasmocytes survivants, appelés plasmocytes mémoires, continuent à produire pendant longtemps des anticorps spécifiques détectables dans le ..... de l'individu. L'ensemble des lymphocytes mémoires d'un individu contribue à son ..... immunitaire.

Lors d'une réaction ..... les anticorps produits par les plasmocytes mémoires permettent aux cellules de l'immunité innée de réagir plus efficacement (ADCP et ADCC). Les LB mémoires et LT mémoires prolifèrent et se différencient en cellules ..... dès qu'elles entrent en contact avec l'antigène spécifique. Elles n'ont pas besoin de l'aide de LTh car elles sont beaucoup plus réactives que les lymphocytes ..... . La réaction immunitaire secondaire est donc à la fois plus ..... et plus ..... .

La vaccination

La vaccination permet de construire chez les individus une ..... immunitaire capable d'empêcher l'apparition d'une maladie lorsque ceux-ci rencontrent le pathogène. Elle consiste à injecter au patient soit un agent infectieux tué, soit un agent infectieux vivant mais peu ou pas virulent (forme atténuée), soit des ..... purifiés de l'agent de l'infectieux. Ces produits sont donc ..... mais pas ..... .

Les vaccins contiennent parfois des ..... qui stimulent la réaction inflammatoire aigüe indispensable à l'installation de la réaction immunitaire ..... . Le phénotype immunitaire est ainsi modelé tout au long de la vie au gré des expositions naturelles ou artificielles aux ..... .

Un individu vacciné ne développe normalement pas la ..... , il ne peut alors pas ..... quelqu'un d'autre. La vaccination est donc une protection individuelle, mais aussi ..... . Cette dernière n'est optimale que si la ..... vaccinale est suffisante. Le seuil d'immunité de groupe peut être calculé grâce au taux de reproduction du pathogène, c'est-à-dire le nombre moyen de personnes ..... par chaque malade.

Seuil d'immunité de groupe = 1 – 1 / Taux de reproduction de l'agent infectieux

L'immunothérapie

Plutôt que de combattre directement les ..... , certains traitements ont pour objectif d'aider le système immunitaire par exemple en le stimulant par des injections d' ..... ou en lui fournissant des ..... produits en laboratoire.

Définitions

Épidémiologie : Science qui étudie la santé et la distribution des maladies à l'échelle des ..... dans le temps et dans l'espace.

Couverture vaccinale : Proportion d'individus correctement ..... contre un agent infectieux particulier dans une population.

Seuil d'immunité de groupe : Couverture vaccinale minimale permettant d'empêcher ..... du nombre de nouveaux malades dans la population (incidence).

Immunothérapie : Ensemble des techniques médicales ..... permettant d'aider le système immunitaire d'un patient à lutter contre un agent pathogène.

TP 10 : La spécificité des anticorps (2 h)

1re Manipulation : La formation des complexes immuns (1 h)

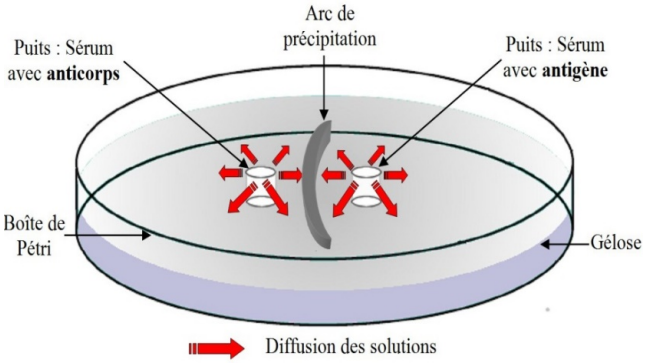
Matériel : Deux boites de Petri gélosée ; Gabarit de perçage (5 trous) ; Tube emporte-pièce ; Cure-dent ; Feuille de papier noire ; Micropipette et cônes ; Feutre ; Lampe ; Six microtubes de 0,5 mL contenant différentes solutions.

Solution BSA : *Bovine serum albumin*
Solution HSA : *Human serum albumin*
Solution RSA : *Rat serum albumin*
Solution H2O : Eau (témoin négatif)
Solution L0 : Sérum de lapin traité avec une injection d'eau
Solution L+ : Sérum de lapin traité avec une injection de BSA

L'immunité adaptative humorale se manifeste par la production d'anticorps, des protéines solubles capables de se fixer sur des antigènes spécifiques.

De l'albumine sérique de bœuf (BSA), une protéine sanguine de bœuf, a été injectée à des lapins, provoquant ainsi une réaction immunitaire et la production d'anticorps. Après une semaine on extrait le sérum de ces lapins.

On cherche à mettre en évidence la présence d'anticorps anti-BSA dans le sérum des lapins traités par injection de BSA. Pour cela vous réaliserez une immunodiffusion d'Ouchterlony. Cette méthode consiste à utiliser la diffusion de molécules solubles, antigènes et anticorps, dans un gel d'agar-agar : les solutions déposées dans les puits creusés dans le gel diffusent de façon homogène dans toutes les directions autour du puits. Les auréoles de diffusion vont donc entrer en contact lorsqu'elles auront suffisamment progressé. Lorsque l'antigène et son anticorps spécifique se trouvent ainsi en contact, ils forment un complexe immun Ag-Ac qui se caractérise par un arc de précipitation, visible à l'œil nu (voir document ci-contre).



Document. La formation d'un arc de précipitation constitué de complexes immuns insolubles.

Faites des puits à l'aide de l'emporte-pièce, du cure-dent, et du gabarit dans les deux boites de Petri gélosées. Choisissez judicieusement les solutions que vous placez dans les puits afin de montrer 1) que des anticorps anti-BSA sont présents dans le sérum des lapins traités et pas dans le sérum des lapins témoins, et 2) que les anticorps présents dans le sérum de ces lapins sont spécifiques de la BSA et pas d'autres protéines. Placez 20 µL de solution dans chaque puits et attendez environ 1 h avant d'observer (avec le papier noir et la lampe) et d'interpréter les résultats.

2e Manipulation : La structure des anticorps circulants (1 h)

Matériel : Ordinateur ; Logiciel Libmol avec le fichier « IGGTOTAL.pdb » et « Ac-Ag.pdb » ; Logiciel Geniegen 2 avec le fichier « igg-vih-8seq.edi » ; Logiciel LibreOffice Writer ; Imprimante couleur.

1) Avec Libmol (fichier « IGGTOTAL.pdb »), déterminez la structure générale d'un anticorps circulant de type IgG. **Faites un schéma simplifié de cette organisation.** Aide : Dans les commandes, colorez par chaine.

2) Avec Geniegen 2 (fichier « igg-vih-8seq.edi »), comparez dans 4 anticorps différents venant du même individu les structures des chaines légères entre elles, et les structures des chaines lourdes entre elles. **Que remarquez-vous ? D'où pourrait provenir la spécificité d'un anticorps vis-à-vis de son antigène ?**

3) Utilisez Libmol (fichier « Ac-Ag.pdb ») pour confirmer votre idée en mettant en évidence les parties variables d'un bras d'un anticorps fixé sur son antigène spécifique . Colorez distinctement les parties variables et constantes et chaque chaine (utilisez la touche « Maj » du clavier pour sélectionner plusieurs acides aminés en même temps dans l'onglet « Séquence ». Faites une capture d'écran, collez-la dans LibreOffice Writer, rognez l'image, donnez-lui un titre et mettez des légendes. **Imprimez votre travail et commentez-le.**

TP 11 : La simulation d'une épidémie (1 h)

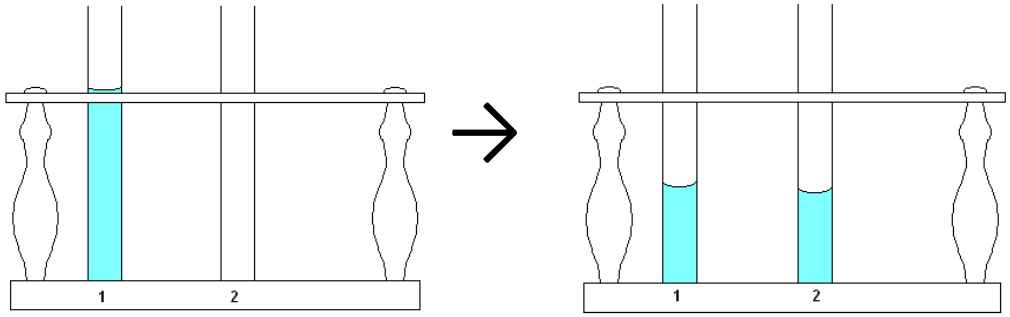
Certains agents pathogènes peuvent être transmis par une personne infectée à plusieurs personnes saines qui développent alors la maladie et deviennent à leurs tours des vecteurs de sa propagation. L'objectif de la simulation que nous allons mettre en œuvre est de montrer comment ce phénomène de transmission peut provoquer une épidémie dans une population non protégée et de mettre en évidence que la limitation du taux de reproduction peut l'empêcher.

Matériel : Pipette de 10 mL ; Propipette ; Deux tubes à essai vides ; Portoir ; Bouchon ; Marqueur indélébile ; Bleu de thymol.

Protocole :

1. Le professeur donne à chaque élève un tube à essai (n° 1) contenant 10 mL d'un liquide incolore simulant ses fluides corporels (salive, mucus, sperme, etc.) ainsi que d'un tube à essai vide (n° 2). L'un des élèves possède à son insu un « agent pathogène » invisible dans son tube (représenté par de la soude, aussi transparente que l'eau).

2. À l'aide d'une pipette chaque élève verse la moitié du tube n° 1 dans le tube n° 2 afin d'en conserver le contenu originel (voir schéma ci-dessous). On met donc un bouchon sur le tube n° 2.



3. Pour simuler l'échange de fluides, un élève verse l'intégralité de son tube n°1 dans le tube n°1 d'un camarade à l'aide d'une pipette. Il récupère ensuite la moitié du contenu du tube de son camarade pour le remettre dans le sien.

4. L'ensemble des élèves simulent ainsi au total 4 rencontres distinctes avec un camarade choisi aléatoirement dans la classe (seulement 3 si le groupe comporte moins de 16 élèves). Chaque élève note l'ensemble de ses rencontres.

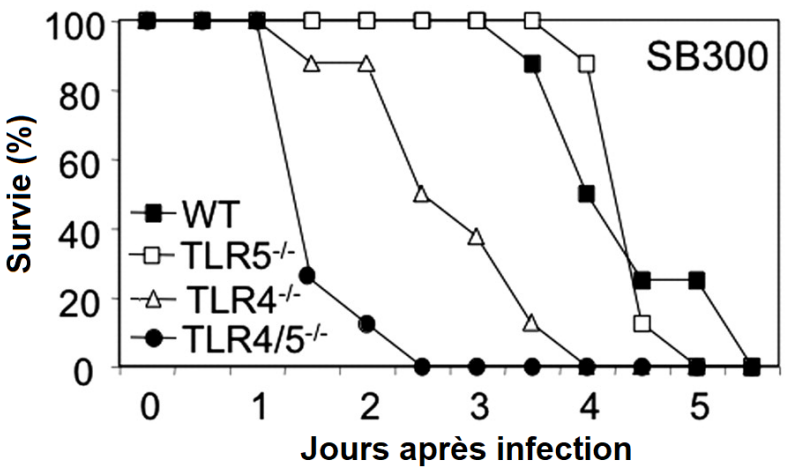
5. Chaque élève verse enfin quelques gouttes de bleu de thymol pour révéler si ses tubes n° 1 et n° 2 contiennent un agent pathogène ou non (jaune/rouge = sain ; bleu = contaminé).

1) Lisez l'ensemble du protocole et réalisez-le sous la direction du professeur. Reconstituez l'arbre des contaminations à la fin de l'expérience. **Que constate-t-on ? Que peut-on en conclure ?**

2) Les élèves rincent leurs tubes et leurs pipettes. On réalisent à nouveau l'expérience mais cette fois le tiers des élèves choisis aléatoirement doivent protéger de manière permanente leurs tube n°1 avec un bouchon (ce qui simule un vaccin, un masque, un préservatif, etc.). La première personne contaminée, le patient zéro, ne possède évidemment pas de bouchon. **Le résultat de l'expérience est-il significativement différent ?**

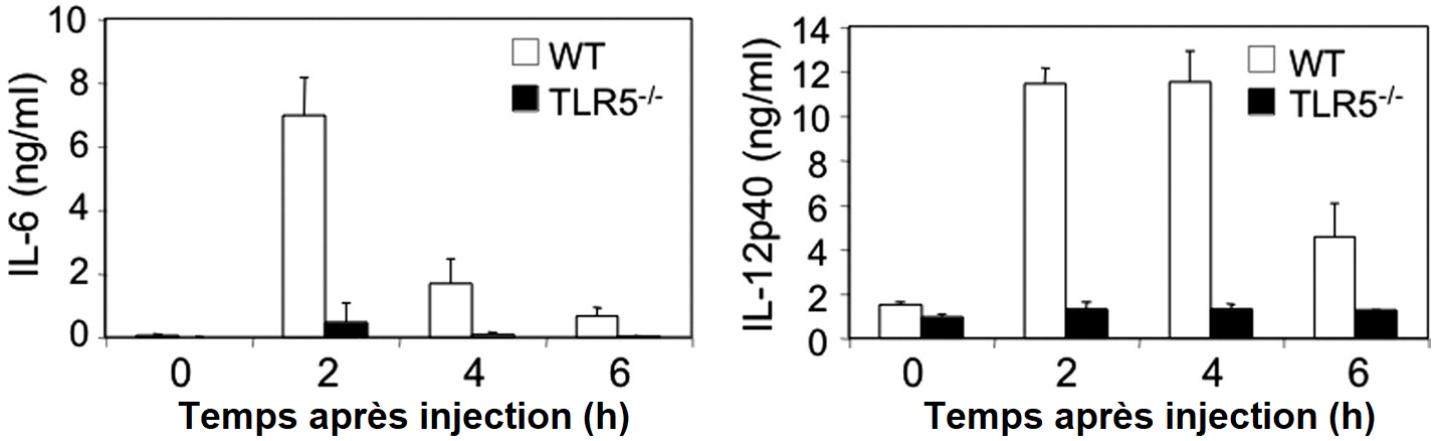
Exercice 16 : La fonction de TLR5 dans la réponse immunitaire

TLR5 est un récepteur membranaire qui appartient à la famille des récepteurs de type Toll ou *Toll-like receptors* dont on sait que plusieurs membres jouent un rôle essentiel dans la reconnaissance de certains agents pathogènes. Par exemple TLR4 reconnait le LPS dans la paroi bactérienne des bactéries à Gram négatif. On cherche ici à comprendre la fonction précise de TLR5. **Analysez les documents suivants pour caractériser sa place et son rôle dans la réponse immunitaire.**



Document 1. Taux de survie de souris infectées par *Salmonella typhimurium* (SB300). Les souris infectées sont sauvages (WT), déficientes pour TLR5 ($TLR5^{-/-}$), déficientes pour TLR4 ($TLR4^{-/-}$) ou déficientes pour les deux ($TLR4/5^{-/-}$). Les salmonelles sont des bactéries à Gram négatif possédant des flagelles. Cette souche en particulier provoque de graves gastroentérites chez l'homme.

Source : D'après Feuillet V. *et al.* (2006) *PNAS, 103*(33):12487-12492.



Document 2. Concentrations en médiateurs chimiques dans les sérums de souris sauvages (WT) ou déficientes pour TLR5 ($TLR5^{-/-}$) après une injection intrapéritonéale de 1 µg de flagelline purifiée. La flagelline est une protéine constitutive des flagelles bactériens. L'IL-6 est une cytokine pro-inflammatoire et l'IL-12p40 a un rôle important dans la différenciation des lymphocytes T auxiliaires.

Exercice 17 : Vaccins et protection collective

On s'intéresse à la protection collective que peut offrir une politique de santé publique efficace en matière de vaccination.

1) Calculez le seuil d'immunité de groupe pour chaque maladie présentée par le document, arrondissez au pourcent près.

2) Comparez et commentez les chiffres de la couverture vaccinale aux seuils d'immunité de groupe.

Maladie	Taux de reproduction	Couverture vaccinale
Diphtérie	5	34 %
Poliomyélite	6	42 %
Rubéole	6	79 %
Oreillons	8	79 %
Coqueluche	15	2 %
Rougeole	16	79 %

Document. Les taux de reproduction de quelques maladies humaines contagieuses. Les chiffres de la couverture vaccinale concernent les adultes en France (2019 pour le ROR, 2012 pour DTP, 2006 pour la coqueluche).

CHAPITRE VII : Les maladies génétiques

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Comparer	Utiliser Geniegen 2 pour convertir et comparer des séquences moléculaires	12			
Présenter	Utiliser Libmol pour mettre en évidence un acide aminé particulier dans un polypeptide	12			
Déduire	Déduire les liens de cause à effets entre le génotype et les différentes échelles du phénotype (moléculaire, cellulaire, macroscopique)	12	18, 21	4, 5	
Déduire	Utiliser des données épidémiologiques pour établir des corrélations et déterminer des facteurs de risques génétiques ou environnementaux			4	
Calculer	Calculer le risque génétique d'être atteint ou d'être porteur d'une maladie monogénique (autosomique ou gonosomique, dominante ou récessive) en fonction du contexte généalogique		19, 20		

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Un tableau de croisement de deux parents porteurs sains de l'allèle pathogène de la mucoviscidose	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● La mucoviscidose, une maladie génétique

En partant de l'exemple de la mucoviscidose, montrez de quelle manière une petite variation génétique peut provoquer des altérations du phénotype aux différents niveaux d'organisation, de la molécule à l'organisme. *Votre synthèse doit inclure un plan organisé de manière logique et un schéma explicatif.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● La sélection naturelle omniprésente

Comparez le développement d'une colonie bactérienne en présence d'un antibiotique à la croissance d'une tumeur cancéreuse et montrez que ces deux phénomènes illustrent le mécanisme de la sélection naturelle. *Il est attendu que votre synthèse se compose d'un plan bien agencé et d'une illustration.*

Leçon 17 : Les maladies monogéniques

La cause génétique de la mucoviscidose

Une maladie qui peut se transmettre génétiquement à la descendance est ..... . Elle peut être causée par un ..... pathogène d'un unique gène : on dit alors qu'il s'agit d'une maladie ..... .

C'est le gène *CFTR* qui est touché dans le cas de la ..... . Il permet de produire la protéine CFTR qui est un canal ionique transmembranaire impliqué dans les échanges d'ions ..... entre la cellule et son environnement. La mutation ΔF508 du gène *CFTR* est une délétion de ..... nucléotides consécutifs. Cet allèle entraine la production d'une protéine CFTR ayant perdu un acide aminé ..... en position 508, formant ainsi un canal non fonctionnel qui empêche les ions chlorures de le traverser (c'est le phénotype .....).

Les symptômes de la mucoviscidose

Les cellules pulmonaires ne laissent donc plus sortir les ions chlorures vers le ..... . Celui-ci est alors beaucoup ..... salé que chez les personnes saines. L'eau est donc en partie chassée du mucus par ..... , ce qui augmente considérablement sa ..... (c'est le phénotype .....).

Le mucus devient alors difficile à ..... , il augmente le risque d'infections, provoque des inflammations chroniques des voies respiratoires, et cause des difficultés ventilatoires. D'autres organes dans lesquels CFTR est aussi exprimé sont également touchés comme l'appareil digestif. De plus, la sueur est ..... salée, ce qui permet de diagnostiquer la maladie par un test simple. L'ensemble de ces symptômes constitue le phénotype ..... .

Ce phénotype malade peut être amélioré par des traitements ..... : une activité sportive adaptée, la kinésithérapie, les médicaments (bronchodilatateurs, substances fluidifiantes, antibiotiques), les greffes pulmonaires. La thérapie génique constitue un espoir de traitement ..... de la maladie par l'introduction d'un ..... fonctionnel dans les cellules pulmonaires atteintes. Cela permettrait de faire produire à ces cellules à long terme suffisamment de protéines CFTR fonctionnelles pour diminuer, voire supprimer les ..... . Comme la mucoviscidose, beaucoup de maladies génétiques ..... sont des cibles potentielles de la thérapie génique.

La transmission de la mucoviscidose

Le chromosome 7 qui porte le gène *CFTR* est un ..... . Une personne sur ..... environ en Europe porte un allèle défectueux du gène *CFTR*, mais les hétérozygotes porteurs d'un allèle fonctionnel ne sont pas atteints par la maladie. On dit donc que le mode de transmission est ..... (non lié au sexe) et ..... , ce qui implique que deux parents hétérozygotes porteurs d'une mutation pathogène du gène *CFTR* ont une chance sur ..... d'avoir un enfant malade. La mucoviscidose est donc une maladie fréquente (environ 1/2 500). Lorsqu'elle est identifiée dans une famille celle-ci peut faire l'objet d'un conseil génétique pour évaluer les ..... de transmission.

Définitions

Autosome : Chromosome non impliqué dans la détermination du ..... , contrairement aux ..... .

Osmose : Mouvement d'un solvant à travers une membrane semi-perméable dans le sens de la plus ..... concentration en solutés.

Thérapie génique : Technique consistant à faire pénétrer des allèles dans les ..... cellulaires d'un organisme pour traiter une ..... .

Leçon 18 : Les maladies héréditaires multifactorielles

Le fonctionnement du diabète de type 2

Les diabètes sucrés sont des maladies liées au dysfonctionnement de la régulation de la ..... . Elles se caractérisent par une augmentation de la concentration plasmatique de ..... : on parle d'..... chronique. Chez une personne saine le pancréas réagit à l'excès de sucre en produisant une hormone, l'..... . Celle-ci agit sur les ..... de plusieurs organes (foie, muscles, tissus adipeux) de différentes manières, et fait ainsi baisser la glycémie. L'action de l'insuline peut donc être qualifiée d'..... .

Dans le diabète de type 2 le pancréas produit bien de l'insuline mais les cellules-cibles sont devenues ..... à son action. Cette insulinorésistance entraine une ..... de la glycémie qui entraine à son tour la sécrétion de quantités de plus en plus importantes d'insuline, et ainsi une augmentation de la ..... . Le pancréas finit par s'épuiser et ne parvient plus à sécréter suffisamment d'insuline, ce qui installe une ..... chronique.

L'origine du diabète de type 2

La probabilité de développer un diabète de type 2 est fortement associée au manque d'exercice physique et à une alimentation ..... . Il existe donc une composante ..... dans cette maladie. Mais un grand nombre de ..... ont également été impliqués dans sa survenue, sans pour autant la rendre certaine. Le diabète de type 2 est donc une maladie polygénique et environnementale dont l'apparition est plus fréquente chez des personnes génétiquement ..... ou ayant une hygiène de vie insuffisante. Ces facteurs génétiques ou environnementaux sont indifféremment appelés des facteurs de ..... . On dit aussi de cette maladie qu'elle est ..... .

Il n'est pas possible d'affirmer avec certitude qu'une personne cumulant les facteurs de ..... développera la maladie ou bien qu'une personne n'en ayant aucun ne la développera pas. Nous ne sommes pas condamnés par nos ..... mais nous ne sommes pas pour autant tous ..... face aux maladies. Les prédictions effectuées par les études ..... à l'échelle des populations ont une valeur statistique, mais pas une valeur individuelle. De telles études sont compliquées à mener à cause des facteurs de ..... qui sont souvent difficiles à éliminer.

Définitions

Prédisposition (génétique) : Ensemble d'..... rendant l'apparition d'une maladie plus probable.

Facteur de risque : Élément dont la présence ..... la probabilité d'apparition d'une maladie.

Facteur de confusion : Variable non prise en compte dans une étude mais capable d'influencer les ..... entre les variables étudiées.

Leçon 19 : Les cancers

Les gènes impliqués dans la cancérisation

Le cycle cellulaire est un mécanisme finement régulé qui permet le renouvèlement constant des cellules somatiques des différents tissus tout en respectant leur ..... . Des mutations touchant des gènes impliqués dans la ..... du cycle cellulaire peuvent se produire dans des cellules somatiques ou germinales.

Les gènes suppresseurs de tumeurs ..... la prolifération cellulaire lorsqu'ils s'expriment. S'ils sont inactivés par une mutation le cycle cellulaire n'est plus ..... . Les proto-oncogènes ..... la prolifération cellulaire. Ils peuvent devenir hyperactifs à la suite d'une mutation et ..... démesurément la succession des cycles cellulaires, on les appelle alors des ..... .

D'autres catégories de gènes, bien que non directement impliqués dans la régulation du cycle cellulaire, peuvent être ..... et favoriser la cancérisation. Ainsi Lorsqu'un gène de ..... des lésions de l'ADN ne fonctionne plus, le taux de ..... peut augmenter, et ainsi augmenter la probabilité que des gènes régulant le ..... cellulaire soient mutés à leur tour. L'inhibition des gènes impliqués dans les mécanismes d'..... peut entrainer la survie de cellules au phénotype potentiellement dangereux. Enfin des mutations des gènes impliqués dans le maintien d'un phénotype cellulaire ..... particulier peut entrainer des pertes de fonction, mais aussi des gains de fonctions dangereuses comme la capacité de migrer (cellule .....) ou la sécrétion d'hormones de croissance favorisant le développement des vaisseaux sanguins alimentant la tumeur en ..... et en ..... .

Les prédispositions génétiques et l'environnement

La connaissance des types de perturbations du génome responsables d'un cancer permet d'envisager des mesures de protection comme l'évitement des agents ..... . Certaines mutations peuvent être déjà présentes à la naissance, certains individus ont donc des ..... génétiques au développement de certains cancers.

Le système ..... attaque souvent les cellules mutantes grâce à leurs phénotypes altérés. À cause de mutations aléatoires la population de cellules cancéreuses peut devenir génétiquement ..... et certaines peuvent acquérir un phénotype ..... à l'action du système immunitaire. Tandis que le système immunitaire détruit les cellules ..... , les cellules résistantes prolifèrent et transmettent leur patrimoine génétique, responsable de leur résistance, à leurs cellules filles. C'est donc par un mécanisme de ..... que les cellules cancéreuses évoluent jusqu'à déborder le système immunitaire.

Le traitement d'un cancer peut comprendre la chirurgie, la ..... ou la ..... . Ces deux dernières méthodes consistent à endommager ..... ou à perturber les mécanismes de ..... ou de division cellulaire, de manière à toucher les populations cellulaires ..... (saines comme cancéreuses). Les traitements sont d'autant plus efficaces qu'ils sont commencés précocement : un ..... régulier est donc nécessaire pour les populations à risque (contexte familial, âge avancé, etc.).

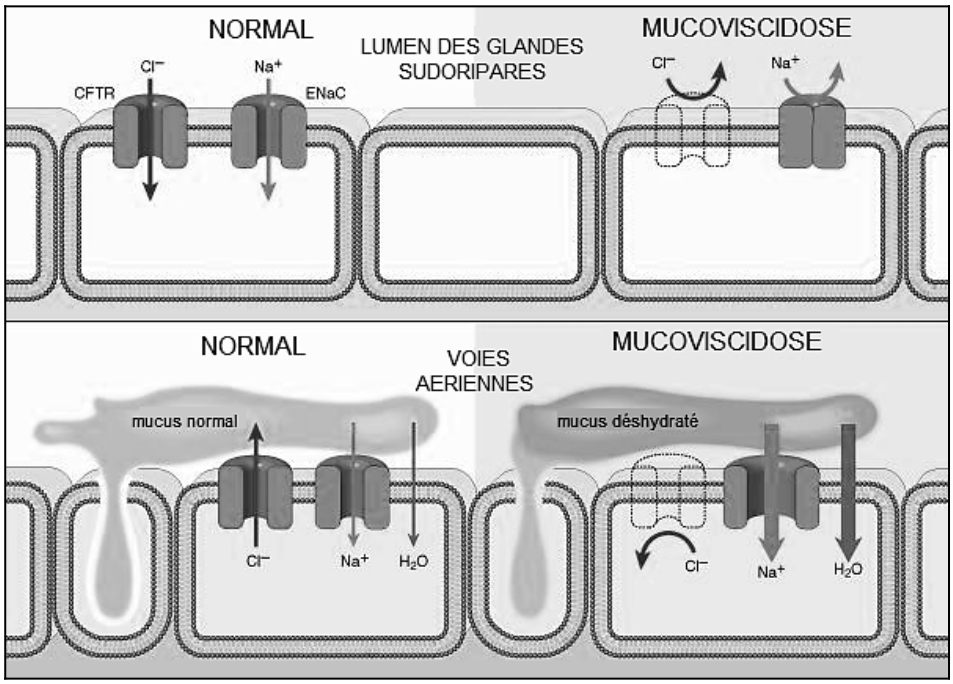
Définitions

Homéostasie tissulaire : Processus de divisions des cellules d'un tissu à un rythme ..... à celui des morts cellulaires permettant la stabilité dynamique du ..... du tissu biologique quant à sa structure et ses fonctions.
Tumeur : Gonflement d'une partie du corps causé par la ..... anormale d'un tissu.
Cancer : Maladie caractérisée par des cellules mutantes et ..... menaçant la survie de l'organisme.
Apoptose : Mécanisme d'autodestruction cellulaire déclenché par des ..... internes ou des ..... externes.

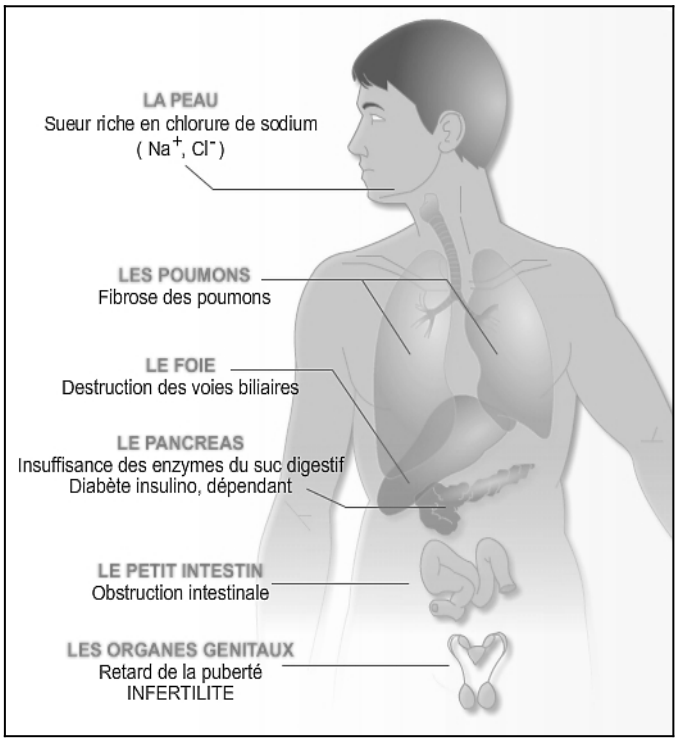
TP 12 : La mucoviscidose, du génotype au phénotype (1 h)

La mucoviscidose est une maladie létale qui touche environ 1 nouveau-né sur 2 500 naissances en Europe. L'espérance de vie d'un malade non traité ne dépasse pas 5 ans. **À l'aide du matériel et des documents, mettez en évidence et reliez entre elles les causes de cette maladie aux différents niveaux d'organisation du vivant.**

Matériel : Ordinateur avec les logiciels Geniegen 2 et Libmol, et les fichiers suivants :
– CFTR.edi : Séquences entières des allèles sauvage et mutant.
– cftr_wt.pdb : Protéine CFTR sauvage.
– cftr_delF508.pdb : Protéine CFTR mutante.



Document 1. Comparaison du fonctionnement des cellules de la peau et des poumons chez une personne saine et chez une personne malade atteinte de la mucoviscidose. CFTR est un canal chlorure et ENaC est un canal sodium.

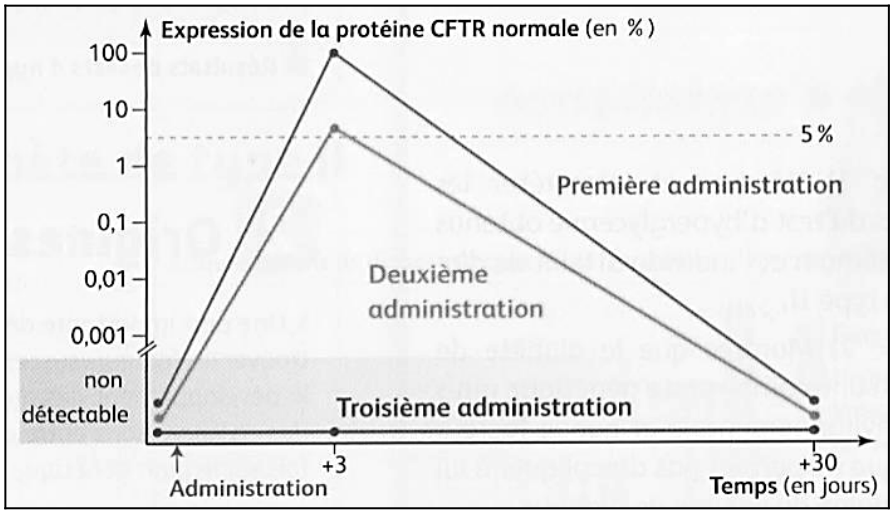


Document 2. Les organes touchés par la mucoviscidose.

Exercice 18 : Mucoviscidose et thérapie génique

On rappelle que la mucoviscidose est une maladie monogénique qui résulte de l'incapacité des cellules pulmonaires à produire une protéine CFTR fonctionnelle. De jeunes patients atteints par cette maladie sont traités à l'aide d'un virus modifié contenant l'allèle $Cftr^+$ codant pour la protéine normale.

À partir du document ci-dessous, expliquez quels sont les espoirs et les limites actuelles de la thérapie génique.



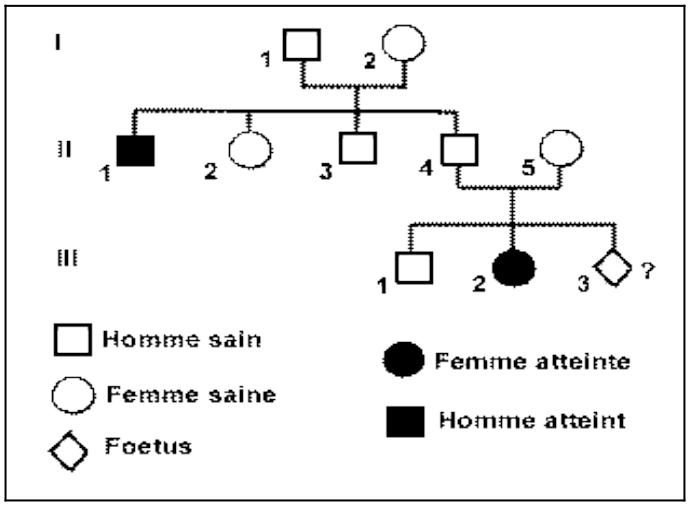
Document. Expression relative de la protéine CFTR fonctionnelle par les cellules pulmonaires après inhalation des vecteurs viraux. Une expression d'environ 5% suffirait à éliminer les symptômes de la mucoviscidose.

Exercice 19 : La mucoviscidose dans une famille européenne

On rappelle que la mucoviscidose est une maladie monogénique causée par l'allèle $Cftr^-$ (l'allèle $Cftr^+$ étant l'allèle fonctionnel). On s'intéresse à une famille dont certains membres sont touchés par la maladie, et en particulier à l'enfant attendu par II.4 et II.5.

1) Déterminez le mode de transmission de la mucoviscidose et estimez le risque que III.3 soit touché par cette maladie.

2) Estimez la probabilité que III.3 soit atteint si II.4 et II.5 n'avaient pas eu précédemment deux autres enfants (on considère alors que III.1 et III.2 n'existent pas).



Document. Arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont touchés par la mucoviscidose. Dans la population européenne, environ 1 personne sur 25 est porteuse de l'allèle $Cftr^-$.

Exercice 20 : L'hémophilie B dans les royautés européennes

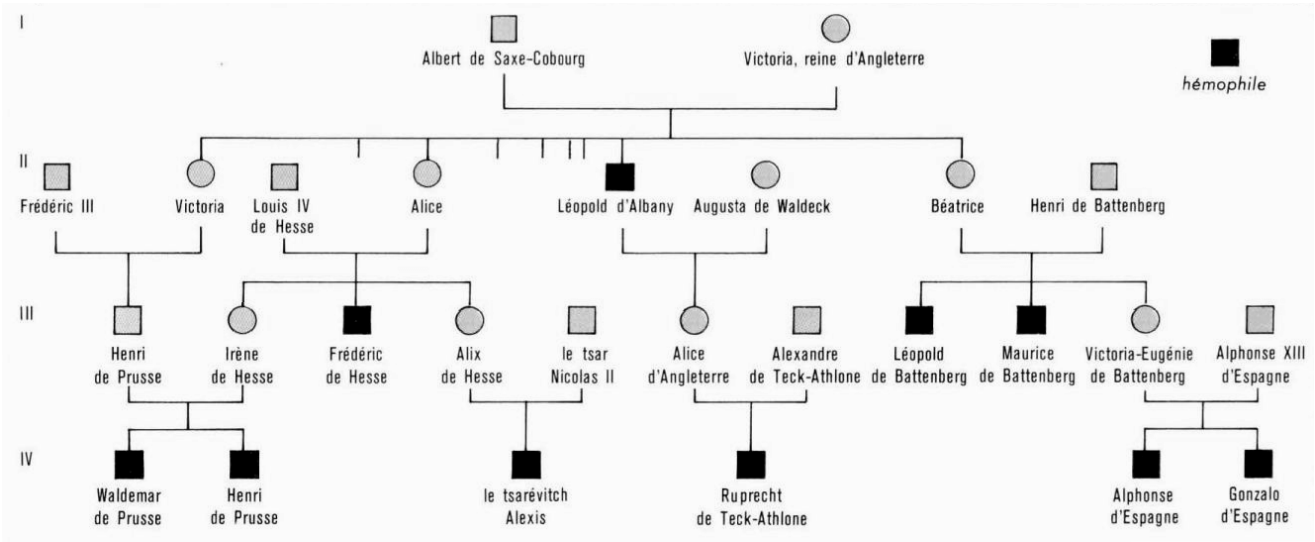
L'hémophilie B est une maladie de la coagulation sanguine provoquée par un déficit dans l'un des facteurs de la coagulation. Les saignements durent alors plus longtemps. Les hémorragies internes sont fréquentes. L'hémophilie B est une maladie monogénique rare. Les allèles sauvage et mutant sont respectivement désignés par les lettres H et h.

1) Déterminez le mode de transmission de l'hémophilie B en étudiant l'arbre généalogique des familles royales européennes. **Sur quel chromosome se trouve l'allèle mutant h ? L'allèle h est-il récessif ou dominant ? Justifiez.**

2) Certains membres de la génération IV appartiennent à des familles royales régnant sur différents pays : Prusse, Russie, Espagne. **Expliquez comment la maladie a pu se transmettre dans ces familles.**

3) Léopold d'Albany a eu un fils (absent du document). **Son père a-t-il pu lui transmettre sa maladie ? Pourquoi ?**

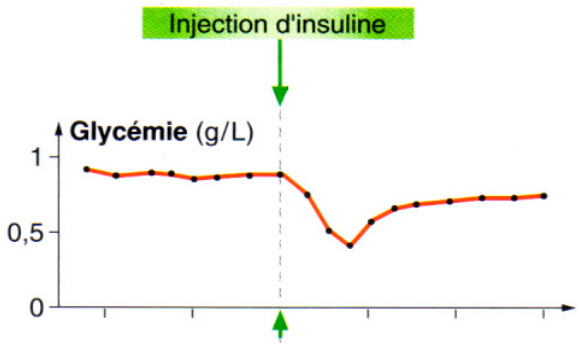
4) Le tsarévitch Alexis avait quatre sœurs (absentes du document), dont la célèbre Anastasia. L'ensemble de la famille ayant été fusillée lors de la révolution russe, aucun de ces enfants n'a eu de descendance. **Quelle est la probabilité qu'Anastasia ait été porteuse de l'allèle h ? Quelle est la probabilité qu'aucune des quatre sœurs n'ait été porteuse ?**



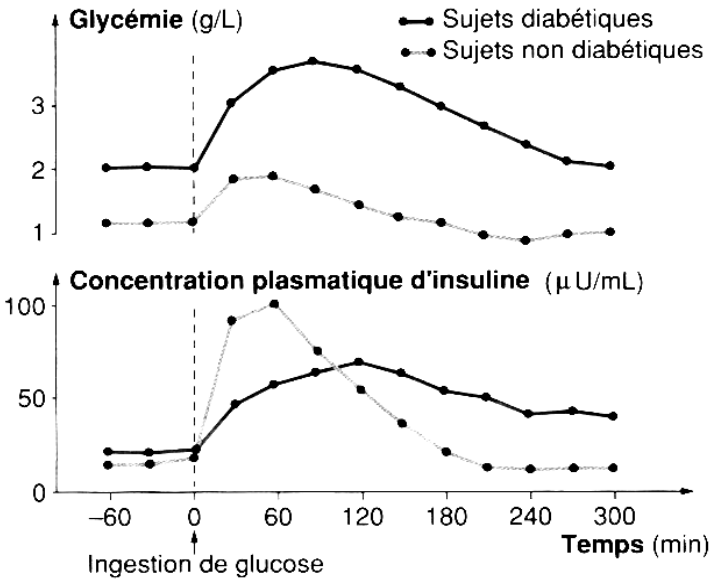
Document. Arbre généalogique d'une partie de la descendance de la reine Victoria.

Exercice 21 : La régulation de la glycémie

On cherche à comprendre comment la glycémie est régulée chez des personnes saines et chez des personnes atteintes d'un diabète de type 2. **Analysez les documents suivants pour caractériser cette régulation et expliquer la maladie.**



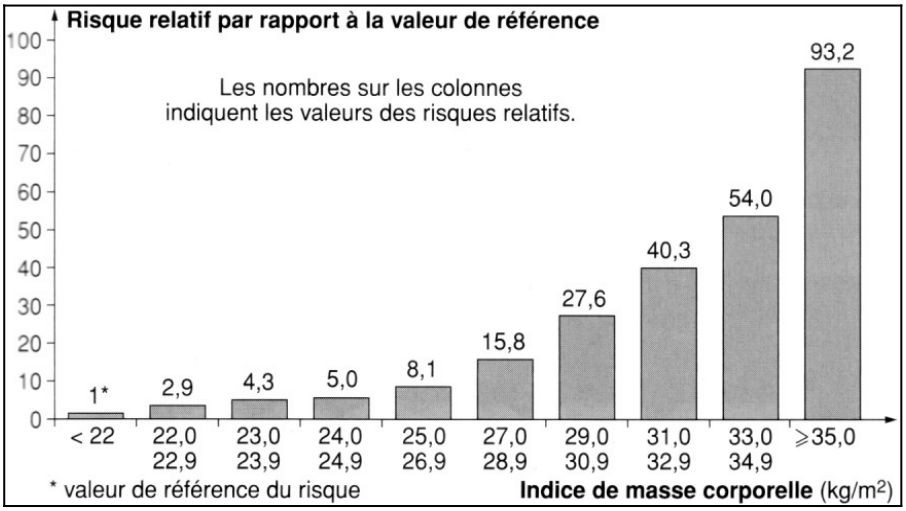
Document 1. Effet sur la glycémie d'une injection d'insuline. Le résultat présenté est la moyenne obtenue chez cinq sujets sains.



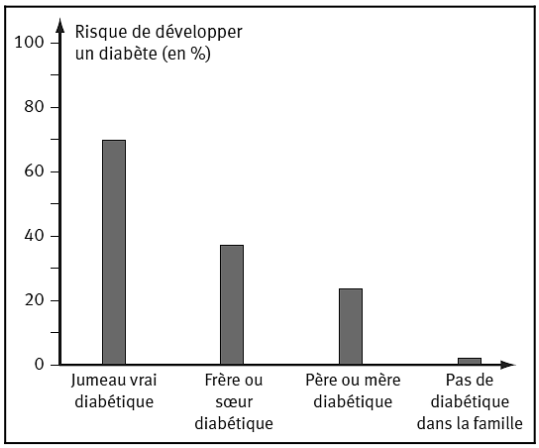
Document 2. Suivi de la glycémie et de l'insulinémie moyennes dans une population saine et diabétique (type 2). Les deux populations ont un âge moyen comparable (environ 50 ans), un poids et une taille similaires. Les individus ont ingéré 1 g de glucose par kg de masse corporelle.

Étude de documents 4 : Le diabète de type 2 et ses facteurs de risques

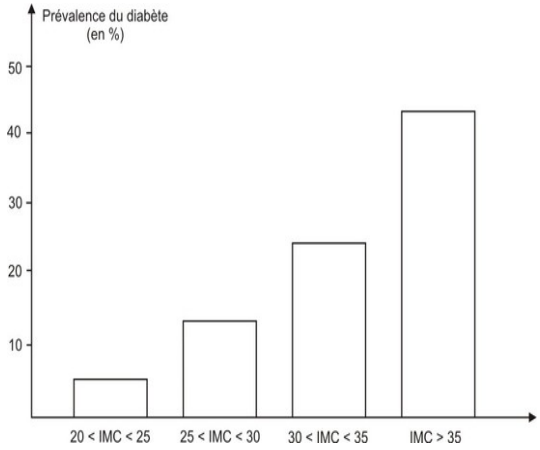
Le diabète de type 2 est une maladie qui se caractérise par une hyperglycémie chronique. Ses symptômes incluent une abondance des urines, une augmentation de la soif, une perte de poids malgré une augmentation de l'appétit et une fatigue importante. C'est une maladie très répandue qui pose d'importants problèmes de santé publique. **À l'aide de vos connaissances et des documents ci-dessous expliquez quelles sont les facteurs de risques de cette maladie.**



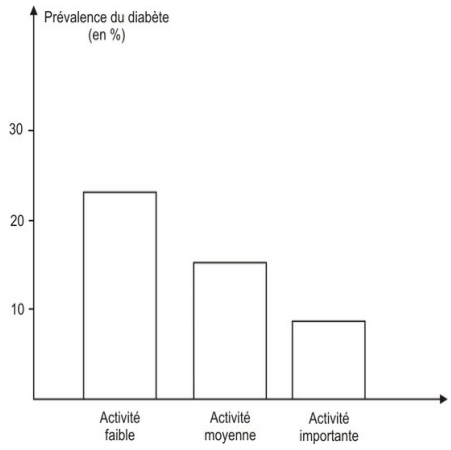
<u>Document 1.</u> Risque relatif d'apparition d'un diabète de type 2 en fonction de l'IMC*. Cette étude épidémiologique a été effectuée sur une durée de 14 ans sur plus de 11 824 femmes âgées de 30 à 55 ans au début de l'étude et initialement en bonne santé.



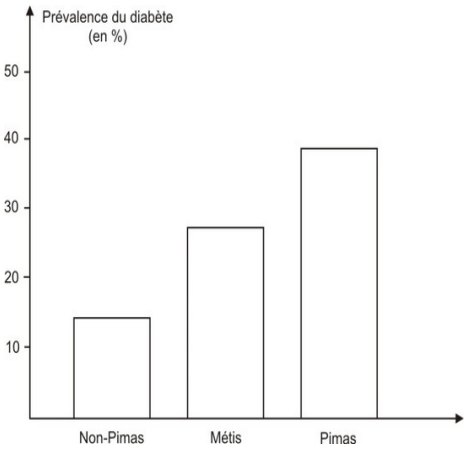
<u>Document 2.</u> Risque relatif de développer un diabète selon la prévalence familiale de la maladie.



<u>Document 3a.</u> Prévalence du diabète en fonction de l'IMC* dans une population d'indiens Pimas récemment occidentalisés (Mexique).



<u>Document 3b.</u> Prévalence du diabète selon l'activité physique dans une même fourchette d'IMC* chez les indiens Pimas.



<u>Document 3c.</u> Prévalence du diabète chez ces individus (d'IMC* et d'activité physique comparables) selon de leur pureté génétique.

* L'IMC est obtenu en divisant le poids (en kg) par la taille au carré (en m). C'est une mesure permettant d'estimer le surpoids. Un IMC normal est compris entre 20 et 25. Un IMC supérieur à 35 indique une obésité sévère.

Étude de documents 5 : La leucémie myéloïde chronique

Les cancers sont des maladies connues depuis l'Antiquité, décrite notamment par Hippocrate qui lui donna ce nom en raison des formes des tumeurs (*cancer* signifiant « crabe » en latin). Les leucémies sont des cancers des cellules de la moelle osseuse qui produisent les cellules sanguines, elles ne forment habituellement pas de tumeurs solides contrairement aux autres cancers. Nous allons nous intéresser plus particulièrement à la leucémie myéloïde chronique (LMC). **À l'aide des documents ci-dessous et de vos connaissances caractérisez le phénotype de cette maladie et déterminez certaines de ses causes et de ses facteurs de risques.**

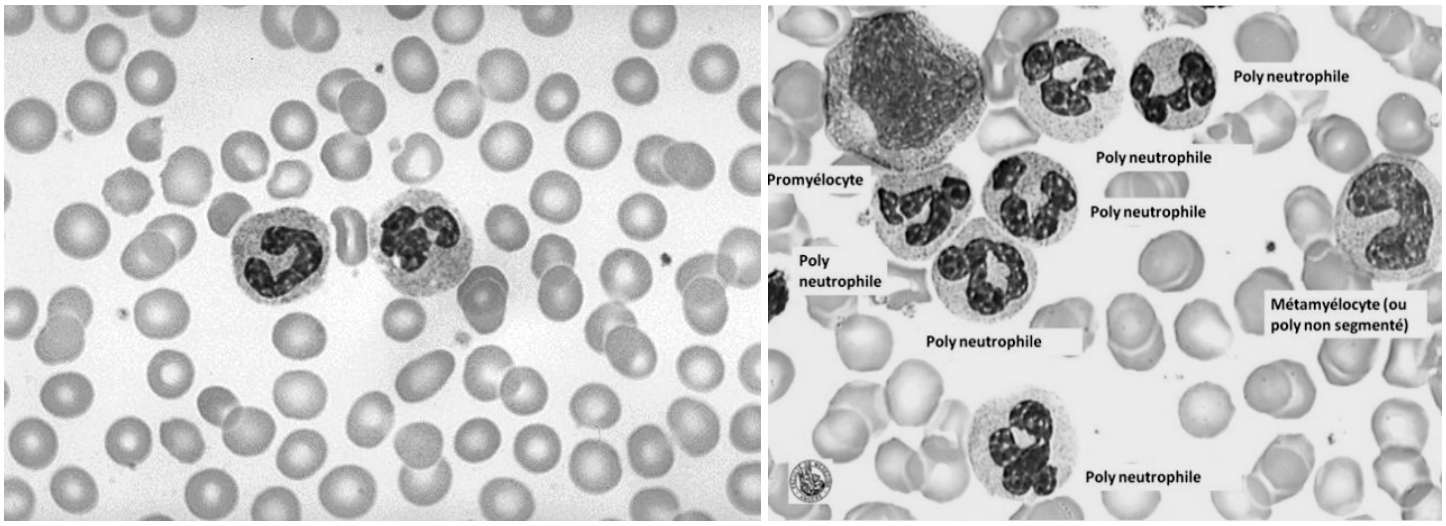
Épidémiologie
Son incidence annuelle a été estimée à 1 à 1,5 cas pour 100 000 personnes, et sa prévalence à 1 sur 17 000.

Description clinique
La maladie évolue typiquement en trois phases : une phase chronique (LMC-PC), une phase d'accélération (LMC-PA) et une phase de leucémie aigüe ou crise blastique (LMC-CB). La majorité des patients est diagnostiquée durant la phase chronique et peut être soit asymptomatique (le diagnostic étant fait suite à une numération sanguine de routine) soit présenter une fatigue, une anémie, une perte de poids, des sueurs nocturnes ou une splénomégalie.

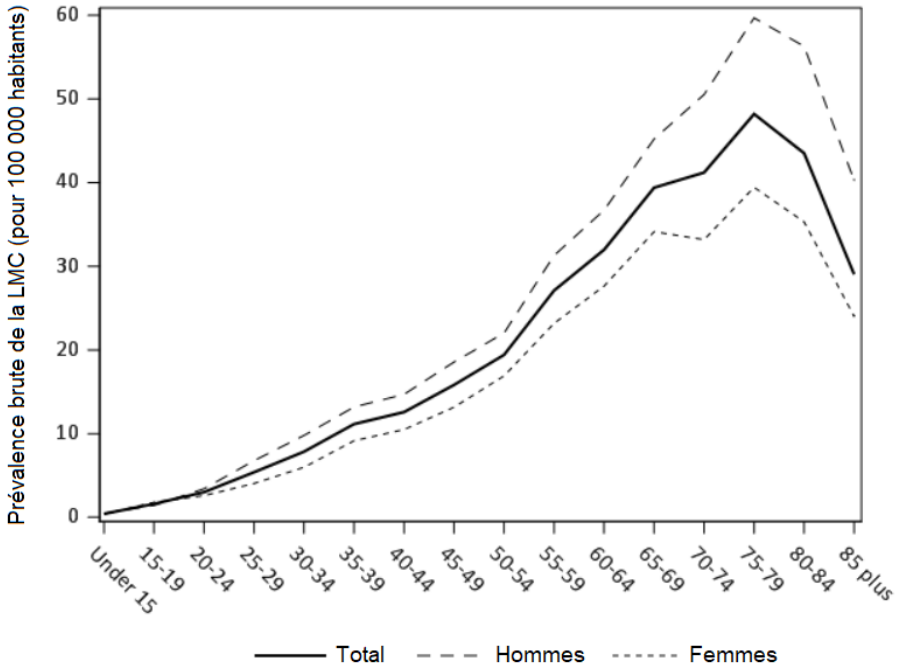
Étiologie
La LMC est caractérisée par la présence d'un chromosome Philadelphie, anomalie résultant d'une translocation réciproque entre les chromosomes 9 et 22 (t(9;22)(q34;q11.2)). La LMC ne semble pas être héréditaire et les facteurs prédisposant à la maladie restent inconnus. Cette translocation entraine la fusion des gènes BCR/ABL codant pour une tyrosine kinase constitutivement active.

Prise en charge et traitement
Bien qu'une greffe allogénique de moelle osseuse soit considérée comme le seul traitement curatif disponible, le pronostic s'est considérablement amélioré grâce au développement ciblé de l'imatinib mésylate. Il s'agit d'un inhibiteur compétitif de l'activité tyrosine-kinase BCR/ABL ayant reçu l'autorisation européenne de mise sur le marché en tant que médicament orphelin pour le traitement de la LMC en 2001.

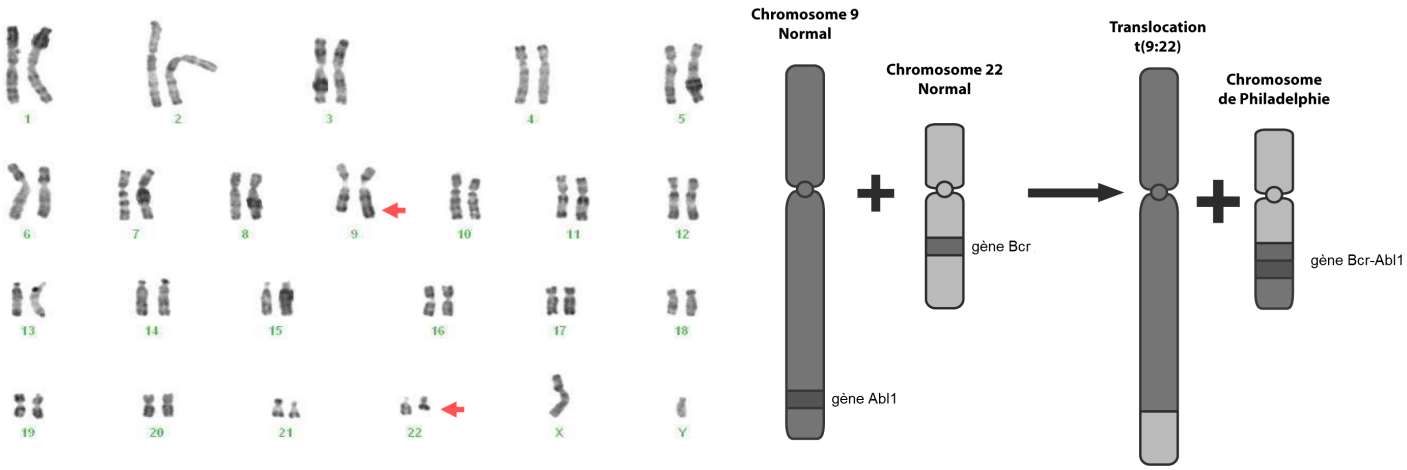
Document 1. Fiche de description de la LMC. Paragraphe issu du site https://www.orpha.net/ « Le portail des maladies rares et des médicaments orphelins ». Dernière mise à jour de cette fiche : Mai 2007.



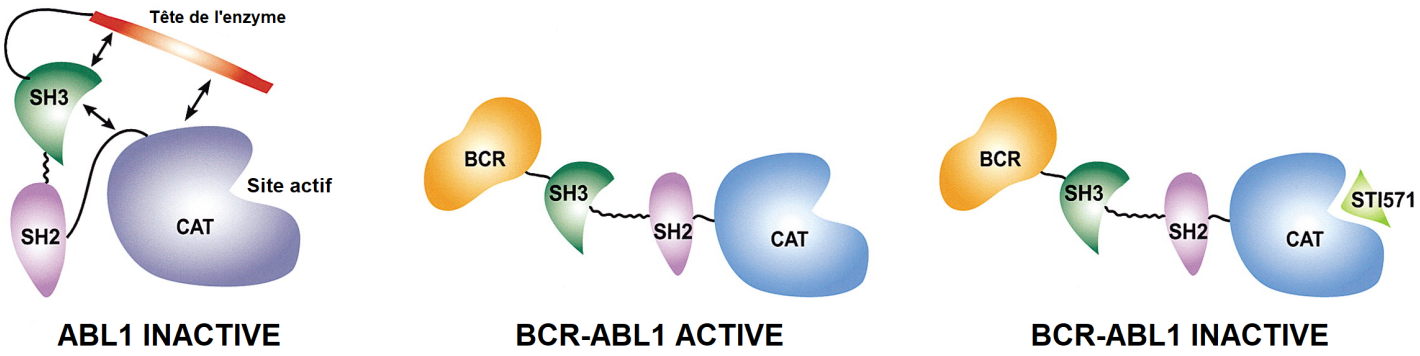
Document 2. Des frottis sanguins d'une personne saine (à gauche) et d'une personne atteinte de LMC (à droite).
Poly neutrophile = abréviation de leucocyte polynucléaire neutrophile (globule blanc de la lignée myéloïde dont le noyau présente 3 à 5 lobes lorsqu'il est complètement différencié).
Promyélocyte / Métamyélocyte = leucocytes incomplètement différenciées de la lignée myéloïde.



Document 3. **Prévalence de la leucémie myéloïde chronique en France en 2014 par sexes et par tranches d'âge.**



Document 4. **Les causes génétiques de la LMC.** À gauche le caryotype d'une personne atteinte de LMC, à droite schéma d'interprétation des chromosomes 9 et 22.



Document 5. **Les conformations des enzymes ABL1 et BCR-ABL1.** Les sigles désignent les différents domaines de la protéine. Les flèches montrent des interactions inhibitrices au sein de la protéine. STI571 est un médicament aussi connu sous le nom d'imatinib, et commercialisé sous les noms de Glivec ou Gleevec.

CHAPITRE VIII : L'humanité et les écosystèmes

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Manipuler	Utiliser une simulation informatique pour mettre en évidence la résilience d'un système en équilibre dynamique et ses limites	13			

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Les flux de matière et d'énergie dans un écosystème (réseau trophique et pyramide de productivité biomasse/énergie)	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● Les relations interspécifiques et l'équilibre d'un écosystème

À l'aide d'un écosystème de votre choix, discutez de l'influence des relations interspécifiques sur l'équilibre de cet écosystème et montrez comment une perturbation peut conduire à une succession écologique. *Votre réponse doit être structurée et comporter une illustration.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Les pesticides et leurs conséquences

La recherche indique que l'exposition à certains pesticides est associée à plusieurs types de cancers, notamment dans le cadre d'une exposition professionnelle (agriculteurs). D'autres pesticides ont également un rôle avéré dans le déclin des pollinisateurs comme les abeilles. **À l'aide de ces exemples ou d'autres exemples de votre choix, vous exposerez les dangers de l'utilisation massive des pesticides dans l'agriculture intensive pour la santé humaine et pour les écosystèmes.** Les conséquences pour l'homme de la dégradation des écosystèmes sont attendues. *Votre synthèse doit comporter une introduction, un développement structuré, une conclusion, et une illustration.*

Leçon 20 : La dynamique des écosystèmes

Les relations interspécifiques

Un écosystème est constitué d'un ..... et d'une ..... . Les ..... interagissent entre elles et interagissent avec leur milieu, par exemple en se ..... en fonction des paramètres physicochimiques (facteurs abiotiques). Les interactions interspécifiques peuvent être classées en fonction des avantages et des inconvénients en termes de ..... et de ..... qu'elles procurent aux partenaires (donc d'évolution). Les relations de compétition (pour l'eau, les nutriments, la lumière, etc.) sont ..... pour les deux espèces, les relations d'..... (prédation, parasitisme) sont positives pour une espèce et négative pour l'autre espèce, et les relations de coopération (mutualisme, dont symbiose) sont ..... pour les deux espèces. Enfin certaines relations peuvent être nulles pour l'une des deux espèces, et positive, neutre, ou négative pour l'autre espèce, on parle alors respectivement de ..... , de ..... , et d'amensalisme. Ces interactions abiotiques et biotiques structurent l'écosystème, elles permettent l'installation d'une ..... particulière.

Les flux de matière et d'énergie

Les relations interspécifiques font fonctionner l'écosystème en générant des flux de ..... et d'..... (production et recyclage) et en modifiant des réservoirs. Ces flux de matière (eau, carbone, azote, etc.) peuvent entrer, circuler, et sortir de l'..... étudié. On peut établir des ..... des entrées et des sorties d'un écosystème.

Dans un écosystème la circulation de matière entre les organismes s'explique par la ..... (c'est le réseau trophique). Les organismes autotrophes produisent de la matière organique à une certaine vitesse à partir de matière minérale grâce à la ..... . Cette productivité primaire fait entrer de la ..... et de l'..... dans l'écosystème. La matière organique des autotrophes est ensuite en partie recyclée par des ..... qui forment ainsi leur propre biomasse (c'est la productivité secondaire). Celle-ci est ensuite assimilée par d'autres hétérotrophes, etc. La productivité de chaque niveau trophique peut ainsi être représenté dans une ..... écologique.

Les perturbations écologiques

Un écosystème n'est pas dans un équilibre statique, il est occasionnellement ..... par des évènements naturels qui le dégradent (séismes, inondations, incendies, tempêtes, etc.) et affectent les populations. L'espace libéré est alors colonisé par des espèces ..... , puis par des espèces intermédiaires, et enfin les espèces climaciques. Cette succession écologique permet à l'écosystème de retrouver son état initial après un certain temps, c'est la ..... . Cet équilibre dynamique peut toutefois être remis en cause si la perturbation dépasse un certain ..... , la dégradation de l'écosystème est alors ..... . La résilience est d'autant plus élevée que l'écosystème est ..... .

Définitions

Biotope : Lieu caractérisé par des ..... physicochimiques plus ou moins stables ou cycliques (température, latitude, pression, altitude, profondeur, humidité, luminosité, composition du sol, composition du sous-sol, salinité, etc.) permettant la ..... des populations d'organismes qui y résident.
Biocénose : Ensemble des ..... , cohabitant dans un même milieu, et de leurs ..... entre eux.
Pyramide écologique : Représentation graphique simplifiée de la productivité en termes de biomasse ou d'énergie de chaque niveau ..... successif dans un écosystème.

Biomasse : Masse de matière ..... des organismes.

Résilience : Capacité d'un écosystème à retrouver son état ..... après une perturbation plus ou moins importante.

Leçon 21 : Les services écosystémiques

L'impact des activités humaines sur les écosystèmes

L'homme est une espèce qui, comme toutes les autres espèces, interagit au sein des ..... qu'elle a colonisé (milieu rural, milieu urbain, etc.). L'homme modifie les biotopes et les biocénoses localement (pollution, érosion, pêche, agriculture, etc.), ainsi que la biosphère à l'échelle globale (réchauffement climatique) pour exploiter des ..... . Ces altérations de grande ampleur fragilisent l'ensemble des écosystèmes de la planète et provoquent une chute rapide de la ..... mondiale que l'on qualifie de 6e extinction massive.

L'impact de la dégradation des écosystèmes sur l'homme

La dégradation des écosystèmes dont l'homme dépend a des conséquences négatives pour lui : pollution des eaux et pénurie d'eau douce, famines, épidémies et développement de maladies, risques d'..... de la civilisation. Les services écosystémiques, rendus ..... à l'humanité, peuvent être classés dans quatre catégories :

1. Les services d'approvisionnement sont les produits ..... tirés des écosystèmes (eau, nourriture, matériaux de construction, combustibles, etc.)
2. Les services de régulation représentent l'ensemble du ..... effectué par les écosystèmes dont l'homme n'a pas à s'occuper (purification de l'eau et de l'air, décomposition des déchets, limitation des espèces nuisibles et des maladies, séquestration du carbone et contrôle du climat, etc.)
3. Les services culturels sont les bénéfices non ..... que tirent l'humanité des écosystèmes (esthétiques, récréatifs, symboliques, patrimoniaux, scientifiques, éducatifs, thérapeutiques, etc.)
4. Les services de soutien sont nécessaires au bon ..... des autres services (formation des sols, pollinisation, etc.).

La gestion durable des écosystèmes

L'écologie permet d'acquérir une connaissance du fonctionnement des ..... et ainsi d'estimer non seulement leur état de santé mais aussi quelles activités ..... ils peuvent supporter. Une gestion rationnelle de la nature implique de ne pas ..... un écosystème à des fins économiques. La mise en œuvre de techniques d'ingénierie écologique permet de modifier ou de réparer un ..... , et de mieux y intégrer les activités humaines. Par exemple l'agroécologie (dont l'agroforesterie) vise à endiguer la dégradation des ..... , à favoriser la biodiversité, et à maintenir durablement les rendements dans les ..... . La biologie de la ..... permet d'identifier les espèces en danger d'extinction, d'en chercher les causes, et d'essayer d'y remédier.

La gestion de l'environnement n'est toutefois pas qu'un problème ..... . Des intérêts ..... particuliers interfèrent avec le bien commun. De plus, les choix politiques à l'échelle ..... ont un impact bien plus important que les comportements ..... .

Définitions

Écologie : Science qui étudie les ..... .

Agroécologie : Discipline qui vise à appliquer les connaissances écologiques aux pratiques ..... .

Biologie de la conservation : Discipline qui étudie le déclin actuel de la ..... de manière à le limiter.

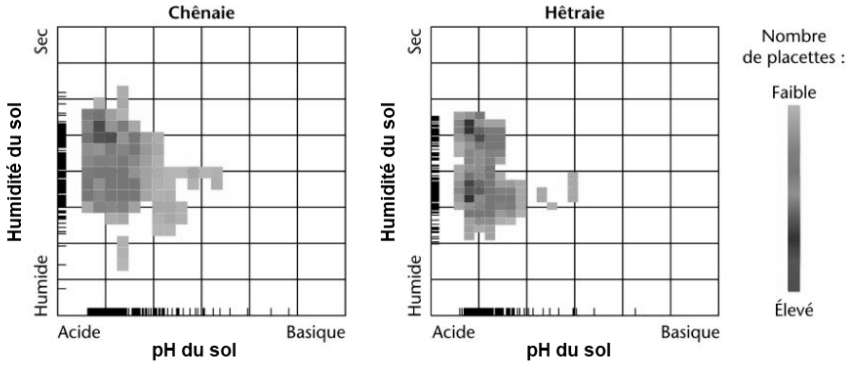
TP 13 : Modéliser et préserver les écosystèmes (1 h)

Matériel : Ordinateur ; Logiciel Édu'modèles.

1re Manipulation : Les forêts face aux incendies

Le chêne et le hêtre sont deux espèces très communes en France, peuplant souvent le même milieu. **On cherche à modéliser la dynamique écologique d'une forêt mixte.**

1) **Montrez à l'aide du document ci-contre que les chênes et les hêtres sont en compétition. Quel arbre semble être le plus tolérant aux conditions du milieu ?**



Document. Conditions dans lesquelles les chênes et les hêtres sont trouvés en Ardenne.

2) Rendez-vous sur Édu'modèles (https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/edumodeles/). Choisissez en bas à gauche « Quelques exemples de modèles algorithmiques » puis « Dynamique et résilience dans une chênaie / hêtraie ». Suspendez la règle « Incendie spontané » et lancez la simulation. **Comment évoluent les populations d'arbres ? Décrivez le climax de cet écosystème.**

3) Au cours de la simulation, sélectionnez l'agent « Flamme » et cliquez sur « Introduire cet agent » pour déclencher un incendie. **Décrivez la dynamique que vous observez. Comparez l'état final et l'état initial de l'écosystème. Comment appelle-t-on ce phénomène ? Quel rôle joue le chêne dans cette dynamique ?**

4) Les chênes sont des espèces héliophiles, ils ont besoin de beaucoup de lumière. Le hêtre est une espèce plutôt sciaphile, il a besoin d'ombrage. **Sachant cela, expliquez quelles interactions entre les chênes et le hêtre pourraient expliquer la dynamique précédemment observée.**

2e Manipulation : La surexploitation des océans

La pêche au chalut, débutée au XIVe siècle, a considérablement évolué avec le développement des chemins de fer au XIXe siècle et l'arrivée des chalutiers à vapeur, permettant une exploitation plus large et lointaine des mers. Cependant, malgré une intensification de l'effort de pêche, les captures stagnent depuis la fin du XXe siècle et la biomasse des grands poissons a chuté à moins de 10 % de son niveau préindustriel, signe d'une raréfaction marquée de ces espèces.

1) Dans Édu'modèles choisissez « Surpêche et limites de la résilience ». Lancez la simulation. **Quel est l'état d'équilibre de cet écosystème en l'absence d'intervention humaine ?**

2) Relancez la simulation après avoir réactivé la règle « pêche » qui autorise l'exploitation. **Que se passe-t-il ? Quelles peuvent être les conséquences de cette situation pour l'homme.**

3) Autorisez la pêche pendant un court laps de temps puis réinterdisez-la. **Décrivez la dynamique de l'écosystème.**

4) Autorisez la pêche pendant une longue durée puis interdisez-la à nouveau avant que les sardines ne disparaissent, par exemple lorsque l'on atteint environ 60 méduses. **Quel est le nouvel état stable du système ? Commentez la situation.**

5) Réinitialisez la simulation. Nous allons maintenant créer une réserve naturelle où la pêche sera interdite. Allez dans le menu « Zones » en haut à droite, puis « Ajouter une zone » que vous appellerez « Réserve ». À l'aide des outils « Crayon » et « Pot de peinture » dessinez l'emplacement de cette réserve naturelle sur la carte. Ensuite sélectionnez et modifiez la règle « pêche » de manière à ce qu'elle ne puisse se produire que dans « zone non affectée » (c'est-à-dire hors de la réserve). Lancez la simulation pour vérifier que votre réserve naturelle est efficace pour préserver la population de sardines. Si ce n'est pas le cas, recommencez en agrandissant votre réserve. Cherchez par tâtonnement la taille minimale d'une réserve efficace dans ce modèle. **Que doit-on en conclure ? Y a-t-il des alternatives ?**

CHAPITRE IX : La croute terrestre

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Déduire	Montrer la nature unimodale ou bimodale d'une distribution statistique		22, 23, 24, 25	6	
Déduire	Déduire l'existence de deux types de croute terrestre à partir de données topographiques		25	6	
Déduire	Mettre en lien la taille d'un cristal avec ses conditions de cristallisation	14			
Manipuler	Utiliser le microscope polarisant et reconnaitre des minéraux dans une lame mince	15			
Identifier	Reconnaitre à l'œil quatre roches : basalte, gabbro, granite, péridotite	14			
Dessiner	Réaliser un dessin d'observation d'une lame mince	15			
Calculer	Calculer les densités de différentes roches	14			

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
La principaux reliefs terrestres et leurs proportions respectives	
La structure de la croute océanique	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● Les reliefs et les croutes

À l'aide de vos connaissances décrivez les particularités de la topographie terrestre, en particulier sous-marine, et montrez en quoi celle-ci nous renseigne sur la nature et la structure de la croute terrestre. *Votre réponse doit être structurée. Au moins une illustration est attendue.*

Leçon 22 : Les reliefs de la croute terrestre

La forme de la Terre

La Terre n'est pas parfaitement ellipsoïdale, sa surface est accidentée et comporte d'importants ..... comme de hautes montagnes et de profonds océans (le point le plus haut étant l'Everest à ..... , et le point le plus bas la fosse des Mariannes à .....).

La Terre ridée ?

La Terre a d'abord été une boule de ..... puis s'est solidifiée en refroidissant. La ..... de la Terre ne devait pas être trop accidentée juste après cette solidification. Or un corps occupe en général un volume de plus en plus ..... en refroidissant. On a donc imaginé que la Terre entière continuait à se ..... en se refroidissant, alors que l'..... de sa croute restait inchangée.

Cette théorie de la contraction ..... de la Terre prédit donc la présence d'irrégularités à la surface de la planète, comme les ..... d'une pomme séchée (d'où son surnom de « théorie de la pomme ridée »). La Terre devait donc avoir des reliefs ayant des altitudes distribuées aléatoirement autour d'une certaine altitude ..... . La majorité de la surface de la Terre serait donc ..... de cette altitude moyenne. On parle de distribution ..... des reliefs.

La distribution bimodale des reliefs

Les mesures bathymétriques et topographiques effectuées dès la fin du XIX^{e} siècle ne confirmèrent pas cette prédiction d'une distribution ..... des reliefs. Une ..... proportion (plus de 20 %) de la surface de la Terre se situe entre 0 m et 1000 m d'altitude, une proportion équivalente (presque 25 %) se situe entre -4 000 m et -5 000 m de profondeur, alors qu'entre ces deux paliers les intervalles intermédiaires ne représentent chacun qu'une ..... proportion de la surface de la Terre.

La surface de la Terre est donc caractérisée par l'existence de ..... niveaux principaux et non d'un seul niveau moyen prépondérant. Cette distribution ..... des altitudes suggère l'existence non d'une seule croute mais de ..... types de croutes distinctes ayant des ..... différentes. La croute océanique, ... dense, s'enfonce alors plus facilement dans le manteau que la croute continentale, ... dense.

Définitions

Mode : Valeur ou classe de valeurs la plus ..... dans une série statistique. On peut distinguer plusieurs modes lorsque plusieurs valeurs très fréquentes sont chacune encadrées par des valeurs ..... fréquentes.

Dorsale océanique : Vaste chaine de ..... sous-marines.

Fosse océanique : Dépression profonde et ..... du plancher océanique.

Marge continentale : Zone ..... marquant la transition entre une croute continentale et une croute océanique. Une marge peut être active ou passive (avec ou sans activités sismiques et volcaniques).

Loi de la poussée d'Archimède : Tout corps plongé dans un fluide subit, de la part de celui-ci, une poussée exercée du ..... vers le ..... et égale, en intensité, au ..... du volume de ..... déplacé.

Leçon 23 : Le contraste pétrographique océan/continent

Le domaine continental

La croute continentale a une épaisseur moyenne d'environ ..... . Elle est généralement recouverte d'une fine couche de roches ..... (2 km d'épaisseur en moyenne) mais elle est principalement constituée de ..... . La densité moyenne du granite, et donc de la croute continentale, est d'environ ..... .

Le granite est une roche magmatique de texture ..... qui comporte du feldspath (plagioclase et orthose), du quartz et du mica noir (ou biotite). À l'œil nu, un minéral peut se reconnaitre par sa couleur, sa transparence, son éclat et sa forme. Le ..... apparait comme un minéral blanc opaque mat, le ..... comme un minéral grisâtre translucide avec un éclat gras, le ..... comme un minéral noir opaque mais très brillant en forme de petites plaquettes. Le granite est chimiquement très ..... en silicium.

Le domaine océanique

La croute océanique a une épaisseur moyenne de ..... . Elle est principalement composée de deux roches magmatiques de même composition minéralogique, le ..... et le ..... . Le basalte est une roche ..... de texture ..... . Il forme à la surface des *pillow lava* (recouverts de sédiments) et un complexe filonien sous-jacent. Le gabbro est une roche ..... de texture ..... qui s'étend sous ces structures basaltiques. Ces deux roches ont la même densité moyenne d'environ **3**, qui est donc également la densité moyenne de la croute océanique.

Le basalte et le gabbro sont composés de feldspath (plagioclase uniquement, jamais d'orthose), et de pyroxène (et parfois d'olivine et d'amphibole). À l'œil nu le ..... est brun (orthopyroxène) ou vert foncé (clinopyroxène), et brillant d'éclat métallique (l'amphibole est brune et peu brillante), l'..... est un minéral vert-jaune et peu brillant (vitreux). Ce sont donc des roches chimiquement ..... riches en silicium que le granite.

Le manteau

Le manteau superficiel, d'une densité moyenne de ..... , est constitué de ..... . C'est une roche ..... , de texture ..... , composée d'..... et de pyroxène. Sa composition chimique est encore plus ..... en silicium.

Définitions

Roche sédimentaire : Roche formée près de la ..... de la Terre par précipitation chimique ou par l'accumulation d'organismes morts ou par l'agglomération de débris issus de l'..... d'autres roches.
Roche magmatique (ou ignée) : Roche issue de la solidification d'un ..... .
Roche volcanique : Roche magmatique de texture ..... ayant refroidi ..... à la surface ou près de celle-ci.
Roche plutonique : Roche magmatique de texture ..... ayant refroidi ..... en profondeur.
Roche métamorphique : Roche dont les minéraux se sont formés à ..... température et/ou à ..... pression sans passage par l'état ..... .

Grenue : Qualifie la texture d'une roche ..... cristallisée et constituée uniquement de phénocristaux (cristaux visibles à l'œil nu).
Microlitique : Qualifie la texture d'une roche ..... cristallisée et constituée de phénocristaux, de microlites (cristaux microscopiques) et d'un verre (pâte vitreuse non cristallisée).

TP 14 : Les roches de la croute terrestre (2 h)

1re Manipulation : Identification des minéraux et des roches à la loupe (30 min)

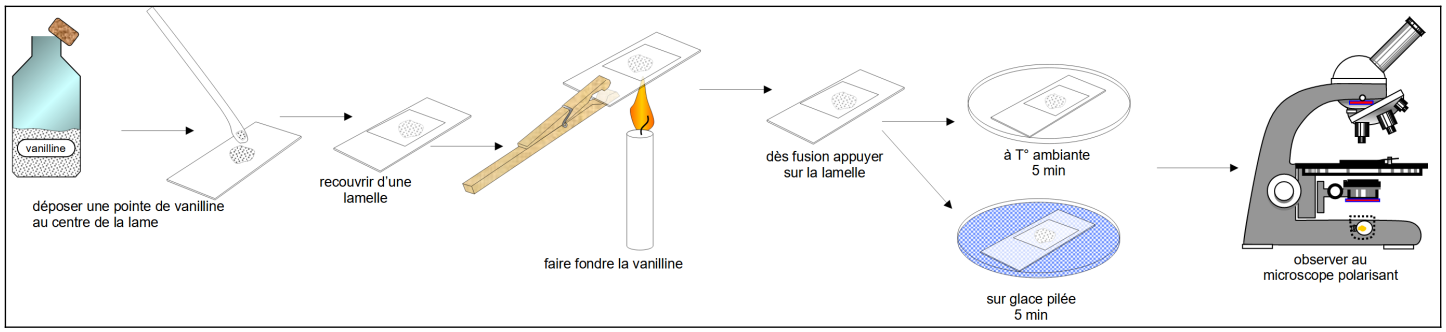
Matériel : Aiguille lancéolée ; Lampe ; Loupe à main ; Roches (basalte, gabbro, péridotite, granite).

Nous allons décrire ensemble les minéraux et la texture des roches à notre disposition. Cela nous permettra d'en déduire les noms de ces minéraux et de ces roches.

2e Manipulation : La taille des cristaux (30 min)

Matériel : Microscope polarisant ; Bac à glace ; Feuille d'aluminium ; Lames ; Lamelles ; Aiguille lancéolée ; Poudre de vanilline (température de fusion : 82 °C) ; Bec électrique ; Pince en bois ; Lunettes ; Masques.

Attention : La poudre de vanilline est irritante et toxique en cas d'inhalation, d'ingestion ou de contact avec la peau ou les yeux.



Document. Protocole de l'expérience de cristallisation de la vanilline.

1) Exécutez le protocole sous la direction du professeur. **Faites un schéma comparatif de vos observations.**

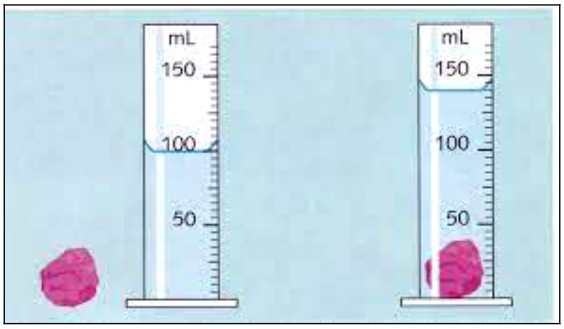
2) Concluez quant à l'origine des textures distinctes du gabbro et du basalte.

3e Manipulation : La densité des roches (30 min)

Matériel : Bécher ; Éprouvette ; Eau du robinet ; Balance (au fond de la salle) ; Roches ; Chiffon.

1) Mesurez les volumes et les masses des échantillons à votre disposition (aidez-vous du schéma ci-contre) et calculez leurs densités.

2) Comparez vos résultats à ceux des autres binômes de la classe (notez-les) et aux valeurs attendues.



Document. Mesure du volume d'un solide irrégulier.

TP 15 : Les minéraux de base (2 h)

Matériel : Microscope polarisant ; Lames minces de roches.

1) D'après la démonstration du professeur distinguez les notions de lumière polarisée analysée (LPA) et de lumière polarisée non analysée (LPNA ou « lumière naturelle »), de couleur et de teinte, de clivage et de macle. Observez les différentes lames minces en LPNA et LPA en même temps que le professeur, et identifiez chacun des minéraux suivants : feldspath plagioclase, feldspath orthose, quartz, mica noir (biotite), pyroxène, olivine (et éventuellement amphibole).

2) Sur une feuille de papier blanche réalisez un dessin d'observation d'une lame mince au choix (1 h).

Exercices d'application

Exercice 22 : Des ouvriers absentéistes ?

La série statistique des nombres de jours d'absence de 20 ouvriers d'une usine au cours d'une année est la suivante : 2 ; 5 ; 4 ; 2 ; 5 ; 7 ; 1 ; 0 ; 1 ; 3 ; 42 ; 12 ; 3 ; 1 ; 1 ; 0 ; 1 ; 2 ; 4 ; 0.

1) Indiquez la ou les proposition(s) correcte(s) parmi les suivantes : a) Le mode n'existe pas. b) Le mode est égal à 42. c) Le mode n'est pas unique. d) Le mode est égal à 1. e) Le mode est égal à 5. f) La distribution est unimodale.
2) Calculez la moyenne et la médiane. Interprétez ces chiffres et comparez-les au mode.

Exercice 23 : Le respect du Code de la Route

Lors d'un contrôle de police sur l'autoroute, un agent a relevé les vitesses (en km/h) de 60 voitures. **Quelle est la classe modale de cette distribution groupée ?**

Classe C_j	C_1 = [90,5 ; 100,5[	C_2 = [100,5 ; 110,5[	C_3 = [110,5 ; 120,5[	C_4 = [120,5 ; 130,5[	C_5 = [130,5 ; 140,5[	C_6 = [140,5 ; 150,5[	**Total**
Effectif n_j	4	10	14	20	8	4	**60**

Document. Distribution groupée des vitesses des voitures. Les vitesses ont été réparties en 6 classes modales.

Exercice 24 : L'égalité salariale en question

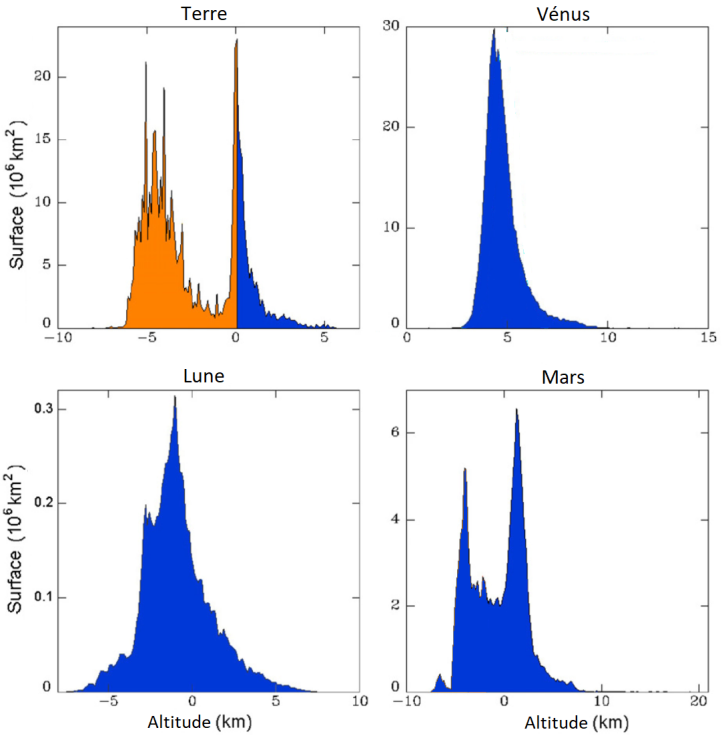
On s'intéresse aux salaires (en unités monétaires) des 200 travailleurs d'une entreprise.
1) Quelle est la classe modale de cette distribution groupée ?
2) Tracer un histogramme représentant ces classes. La hauteur des barres est-elle proportionnelle aux effectifs ?
3) Dans un nouveau tableau, calculer les fréquences cumulées, puis tracer une courbe des fréquences cumulées.

Classe C_j	C_1 = [500 ; 1000[	C_2 = [1000 ; 1200[	C_3 = [1200 ; 1500[	C_4 = [1500 ; 2000[	C_5 = [2000 ; 3000[	**Total**
Effectif n_j	80	60	30	20	10	**200**

Document. Distribution groupée des salaires de tous les travailleurs d'une entreprise.

Exercice 25 : Des croutes extraterrestres

Les reliefs émergés de la Terre sont mesurés par les hommes depuis l'Antiquité par des observations directes et des calculs trigonométriques simples. Au XX^{e} siècle les océans et les autres astres du système solaire ont commencé à être explorés. Des sondes spatiales ont permis de récolter des données précises sur la topographie de ces astres, comme la mission Magellan (1990-1994) pour Vénus. **Que remarque-t-on de particulier dans ces données et quelle hypothèse pouvez-vous formuler pour l'expliquer ?**



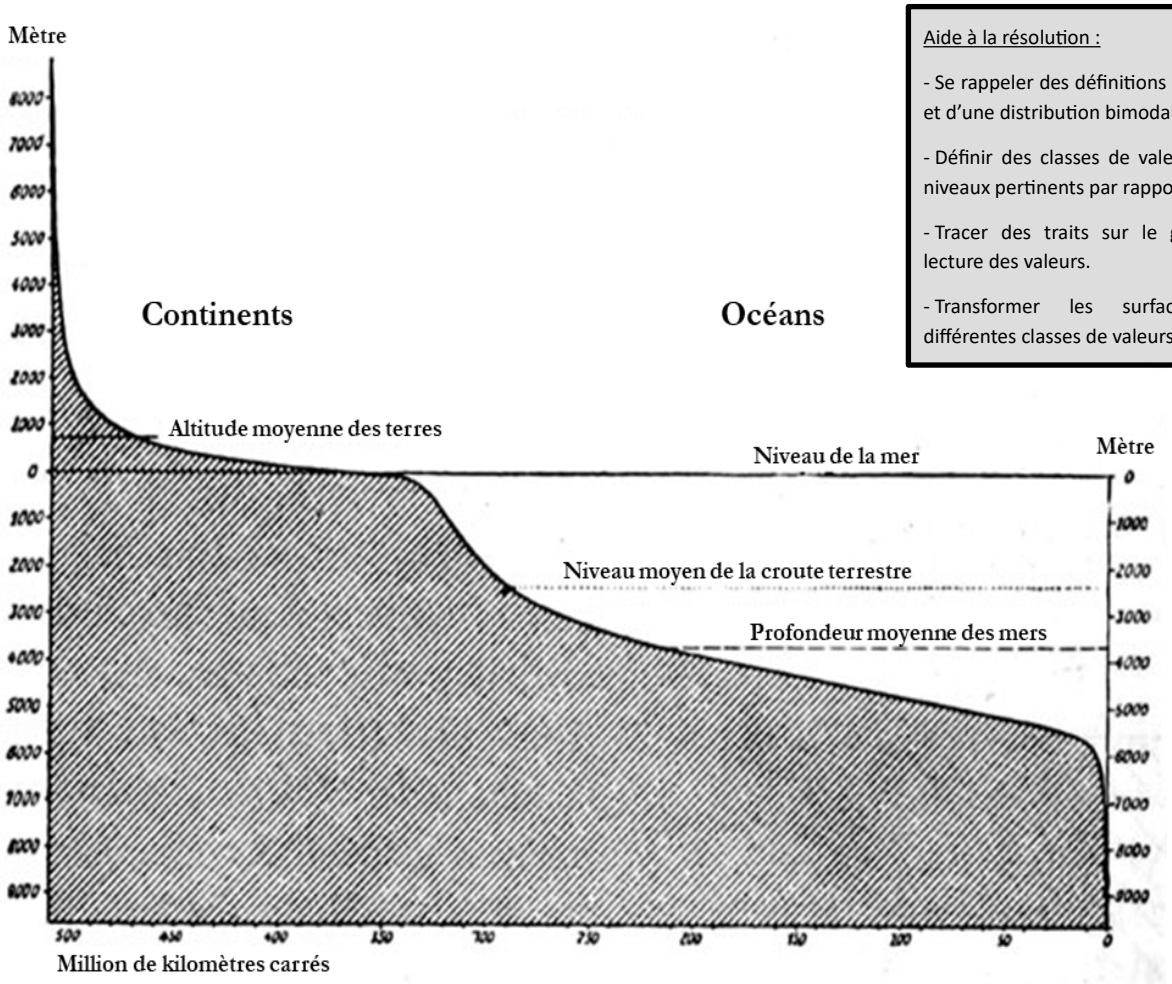
Document. Distribution des reliefs de la Terre, Vénus, la Lune et Mars. L'altitude 0 correspond au niveau moyen des océans pour la Terre, et est arbitraire pour les autres corps.

Étude de documents 6 : L'hypsométrie terrestre

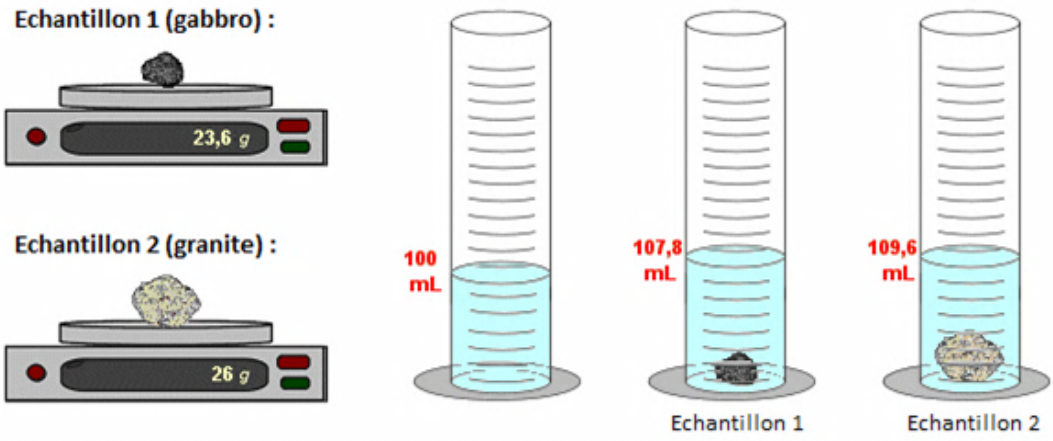
L'exploration systématique des fonds marins à partir de la fin du XIX^{e} siècle a permis de récolter des données surprenantes quant à la distribution des altitudes et des profondeurs. **Montrez à l'aide d'une analyse rigoureuse des documents suivants que la distribution des reliefs terrestres est bimodale et fournissez une explication physique à ce constat.** *Une exploitation précise des valeurs est attendue.*

Aide à la résolution :

- Se rappeler des définitions exactes d'une classe modale et d'une distribution bimodale.
- Définir des classes de valeurs appropriées autour des niveaux pertinents par rapport au graphique.
- Tracer des traits sur le graphique pour faciliter la lecture des valeurs.
- Transformer les surfaces correspondants aux différentes classes de valeurs en pourcentages.



Document 1. Courbe hypsométrique cumulative de la surface de la Terre présentée par Wegener (1929) d'après les travaux de Krümmel (1907). L'hypsométrie est la détermination de l'altitude ou de la profondeur d'un lieu. Les légendes en allemand ont été traduites. Les nombres vont de 1 000 en 1 000 sur l'axe des ordonnées, et de 50 en 50 sur l'axe des abscisses. La surface totale de la Terre est de 510.10^{6} km^{2}.



Document 2. Mesure expérimentale des densités de deux roches. Le gabbro et le granite sont des roches respectivement représentatives des croutes océanique et continentale.

CHAPITRE X : La structure de la lithosphère

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Manipuler	Utiliser les lois de Snell-Descartes pour montrer la formation d'une zone d'ombre	16			
Manipuler	Mesurer la vitesse d'ondes sismiques à travers des matériaux de nature différente ou à des températures différentes	16			
Déduire	Interpréter un graphique montrant des temps d'arrivée en fonction de la distance à l'épicentre (hodochrone) pour déduire l'existence d'une discontinuité			7	
Identifier	Repérer des discontinuités géologiques sur un graphique indiquant les vitesses des ondes sismiques en fonction de la profondeur			8	
Identifier	Lire et interpréter des courbes de géotherme et de solidus pour déterminer l'état de la matière et son comportement			8	
Identifier	Identifier les limites des plaques tectoniques en utilisant des données sismiques ou volcaniques	17			
Calculer	Calculer des vitesses de plaques tectoniques avec des alignements volcaniques produits par un point chaud		26, 27		
Calculer	Calculer des vitesses de plaques tectoniques à l'aide de données GPS		26		

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Comparaison entre une faille normale et une faille inverse	
Le déplacement de la lithosphère au-dessus d'un point chaud fixe	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● Les plaques tectoniques : mobilité horizontale et structure

La Terre est une planète, elle est le siège d'une activité sismique et volcanique. **En vous appuyant sur les distributions de ces phénomènes sur le globe, en citant des exemples précis, montrez que la lithosphère s'organise en plaques tectoniques horizontalement mobiles, et décrivez leur structure générale.** Les causes de la fusion partielle à l'origine du magmatisme ne sont pas attendues. Vous ne discuterez pas non de la mobilité verticale des plaques tectoniques. *Votre réponse doit être organisée selon un plan et inclure un schéma.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Lithosphère océanique et lithosphère continentale

Décrivez précisément les différences de composition et de structure entre la lithosphère océanique et la lithosphère continentale en vous appuyant sur des arguments scientifiques. *Votre exposé doit être bien structuré et comporter au moins une illustration.*

Leçon 24 : Les séismes et les ondes sismiques

Les caractéristiques d'un séisme

La Terre a un rayon moyen d'environ ..... mais le forage le plus profond jamais effectué n'a atteint qu'une profondeur de ..... . On ne peut donc pas simplement creuser pour connaitre la structure interne de la Terre, par contre les ondes ..... peuvent traverser la Terre et nous renseigner sur sa constitution.

Un séisme est une série de ..... du sol résultant de la rupture soudaine des roches en profondeur soumises à des contraintes, c'est-à-dire des ..... exercées sur ces matériaux. Cette zone de rupture est appelée le ..... . Les roches se déplacent alors le long d'une ..... ayant la forme d'un plan. Dans un contexte de convergence on observe des failles ..... , tandis que dans un contexte de divergence on observe des failles ..... . Deux blocs peuvent également ..... l'un par rapport à l'autre sans rapprochement ni éloignement, ce qui conduit à des failles ..... .

Un séisme libère beaucoup d'..... . Celle-ci est mesurée sur l'échelle de magnitude de ..... . Cette échelle n'est pas linéaire, un gain d'un degré de magnitude correspond à une énergie sismique environ ..... fois plus importante, un gain de deux degrés à une énergie ..... fois plus importante, etc.

La propagation des ondes sismiques

Les séismes émettent plusieurs types d'ondes : les ondes de ..... se propagent à l'intérieur de la Terre, elles incluent les ondes P (ou .....) et les ondes S (ou .....). Les ondes de ..... , R et L, ne se déplacent pas à l'intérieur de la Terre et donc se dissipent plus difficilement que les ondes de volume, elles sont donc aussi plus ..... . Les ondes P sont des ondes de ..... , elles ont une vitesse d'environ 6 $km.s^{-1}$ près de la surface. Elles peuvent se propager dans tous les milieux quel que soit leur ..... (solide, liquide ou gazeux). Les ondes S sont des ondes de ..... , elles ont une vitesse d'environ 4 $km.s^{-1}$ près de la surface. Elles ne peuvent se propager que dans les milieux ..... .

La vitesse de propagation d'une onde dépend de la ..... , de la ..... , de la ..... , de la ..... , de la ..... , et de l'..... du matériau qu'elle traverse. Lorsque l'onde passe d'un milieu à un autre, elle est déviée s'il y a une différence de vitesse de propagation, on parle alors de ..... . Le rai de l'onde réfractée s'éloigne de la droite normale à l'interface quand il passe dans un milieu ..... réfringent, c'est-à-dire ayant un indice de réfraction ..... au premier milieu. Plus une onde se déplace rapidement dans un milieu, ... celui-ci est réfringent.

Loi de Snell-Descartes pour la réfraction : $n_1 . \sin(i_1) = n_2 . \sin(i_2)$; ce qui équivaut à : $\sin(i_1) / v_1 = \sin(i_2) / v_2$

Définitions

Épicentre : Point à la surface de la Terre se situant à l'aplomb du ..... d'un séisme.

Faille : Plan qui délimite deux compartiments rocheux ayant ..... l'un par rapport à l'autre selon des directions parallèles à celui-ci.

Réfraction : Déviation du rai d'une onde à l'interface entre deux milieux ayant des ..... de propagation différentes (et donc des ..... de réfraction différents).

Leçon 25 : Les discontinuités superficielles de la Terre

La croute et le manteau

Les ondes sismiques deviennent subitement plus ..... à partir d'une certaine profondeur. Cela révèle l'existence d'une ..... sous les continents située en moyenne à 35 km de profondeur. Cette discontinuité qui sépare la croute et le manteau s'appelle le ..... . Celui-ci n'est situé qu'à 6 km de profondeur en moyenne sous le plancher ..... . C'est une discontinuité ..... (granite ou gabbro contre péridotite) mais pas ..... car la croute et le manteau sous-jacent ne peuvent pas se déplacer indépendamment l'un de l'autre. Les études de sismique ..... permettent aujourd'hui de calculer la profondeur du Moho à différents endroits du globe.

La lithosphère et l'asthénosphère

Il existe une zone dans le manteau supérieur où les ondes sismiques ..... significativement, à partir de 60 à 150 km de profondeur (selon l'âge du domaine continental). Cette zone des moindres vitesses ou LVZ (pour *low velocity zone*) indique que les matériaux du manteau sont ..... visqueux à cette profondeur. Cela s'explique par le fait que dans la LVZ le ..... frôle le solidus de la péridotite, ce qui la rend plus ..... .

La partie superficielle du manteau est mécaniquement solidaire de la ..... sus-jacente mais désolidarisée du manteau sous-jacent. La LVZ marque la limite entre une ..... rigide et une ..... ductile et légèrement ..... dense (3,25). Contrairement au Moho, la LVZ n'est pas une discontinuité ..... mais une discontinuité ..... .

Définitions

Discontinuité : Zone en profondeur marquant un changement ..... de la vitesse des ondes sismiques.

Gradient géothermique (ou géotherme) : Variation croissante de la ..... en fonction de la ..... .

Solidus : Ensemble des combinaisons de température et de ..... pour un matériau donné différent d'un corps pur séparant le domaine entièrement ..... et le domaine où coexistent solide et liquide.

Ductile : Qualifie un matériau capable de se ..... de manière définitive sans se rompre (comportement plastique).

Leçon 26 : La mobilité horizontale de la lithosphère

Les plaques tectoniques

La ..... est fracturée en de multiples plaques tectoniques qui se déplacent lentement les unes par rapport aux autres. L'étendue d'une plaque ne se déforme pas mais ses ..... sont sismiquement et volcaniquement actives à cause de ses mouvements par rapport aux autres plaques. Les plaques qui se rapprochent sont ..... tandis que celles qui s'éloignent sont ..... .

Un modèle cinématique

Du fait de la géométrie sphérique de la Terre, les plaques tectoniques se déplacent selon des mouvements de ..... autour d'axes virtuels passant par le ..... de la Terre. Ces axes sont dits ..... , ils traversent chacun la surface en deux points appelés ..... eulériens. La rotation possède une vitesse angulaire ..... , mais les vitesses linéaires des roches s'accroissent avec la ..... à l'axe de rotation. Ce modèle permet de prédire les vitesses linéaires engendrées par les mouvements de ..... .

La méthode des points chauds

Des alignements d'édifices ..... sont observés au sein des plaques, comme l'archipel d'Hawaï. Les âges de ces iles et de ces monts sous-marins sont ..... à leur éloignement au volcan le plus récent. Ces alignements sont donc les conséquences de points chauds fixes situés profondément dans le ..... , au-dessus desquels se déplacent régulièrement les plaques lithosphériques. Cela permet de calculer les ..... (direction, sens et vitesse) de déplacements de ces dernières sur quelques ..... d'années.

Site NASA : https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html

La méthode du GPS

Les mouvements actuels des plaques sont aussi directement observables par ..... grâce au système GPS (ou *Global Positioning System*). Un récepteur GPS calcule sa propre position à la surface de la Terre grâce aux ..... temporels de réception des signaux émis par au moins quatre satellites. Les vecteurs de déplacements ainsi calculées sur quelques ..... concordent bien avec les résultats de la méthode des points chauds.

Définitions

Plaque tectonique : Portion de ..... plus ou moins grande, rigide en son sein mais déformable à ses frontières (dorsales océaniques, fosses océaniques, chaines de montagnes, etc.). Une plaque peut être constituée seulement de lithosphère océanique, seulement de lithosphère continentale, ou bien être mixte.

Cinématique : Description géométrique des ..... indépendamment de leurs causes (par opposition à la .....).

Point chaud : Zone d'anomalie thermique ..... du manteau terrestre, supposée ..... , à l'origine de panaches ascendants de magma, responsable d'une activité volcanique régulière à la surface de la Terre.

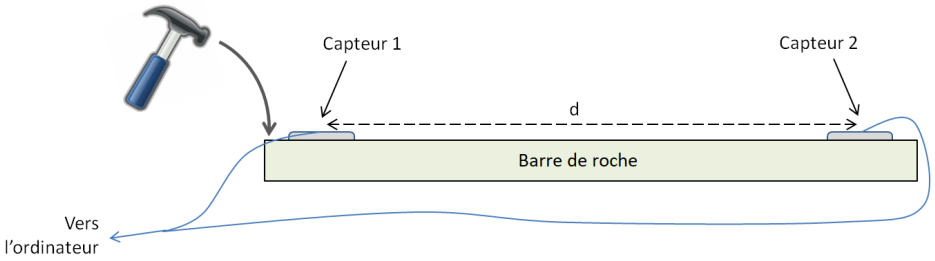
TP 16 : La propagation des ondes sismiques (2 h)

Matériel : Ordinateur ; Logiciel Audacity ; Marteau ; Scotch ; Polystyrène ; Deux capteurs piézoélectriques ; Barres de roches (calcaire, granite, basalte) ; Barres de pâte à modeler (chaudes et froides).

1) Observez la démonstration du professeur puis réalisez le protocole en donnant de petits coups de marteau pour produire des ondes de compression.

2) Calculez les vitesses de ces ondes dans différents matériaux ou à des températures différentes. Partagez vos résultats avec le reste de la classe.

3) Interprétez vos résultats et concluez.



TP 17 : Les plaques lithosphériques (1 h)

Matériel : Ordinateur ; Logiciel Tectoglob3D ; Imprimante couleur.

1) Rendez-vous sur Tectoglob3D (https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/tectoglob3d/). Nous allons d'abord nous intéresser aux reliefs de la lithosphère.

a) Dans le menu « Actions », choisissez « Décortiquer le globe » pour afficher les reliefs de manière exagérée. **Étudiez visuellement la distribution des altitudes et décrivez-la.**

b) Dans le menu « Actions », choisissez « Distribution des altitudes » puis tracez une coupe entre le centre de l'Amérique du Sud et le centre de l'Afrique. **Caractérisez la distribution des altitudes le long de cette coupe. Cela confirme-t-il votre observation précédente ?**

2) Nous cherchons maintenant à caractériser la structure verticale de la lithosphère et examiner si cette structure est plus ou moins variable selon les régions du globe. Faites à nouveau l'action « Décortiquer le globe », et retirez la croute. Décrivez la surface affichée. Retirez ensuite la lithosphère et caractérisez cette surface. Utilisez les options « Frontières des pays » et « Échelle colorée » pour vous repérer plus facilement. **Que constate-t-on de particulier dans les deux cas ? Quelle hypothèse pouvez-vous formuler pour l'expliquer ?**

3) Maintenant nous voulons identifier les frontières des plaques lithosphériques.

a) Réinitialisez votre globe, allez dans « Données affichées » et sélectionnez « Volcans ». **Comment les volcans sont-ils distribués à l'échelle mondiale ? Pourquoi ?**

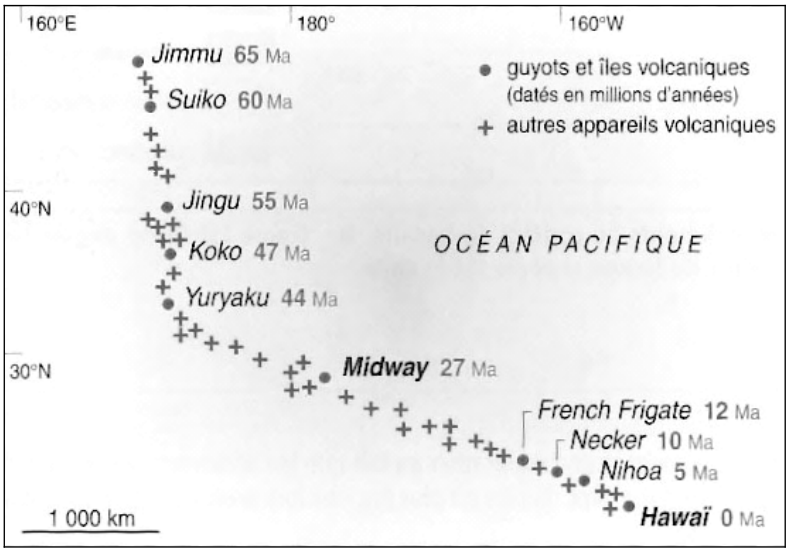
b) Affichez maintenant l'emplacement des foyers sismiques. **En quoi leur répartition sur le globe est-elle particulière ? Quelle est l'origine de ces séismes ?**

c) Utilisez le fond de carte monochrome dans le menu « Option », et affichez à la fois les volcans et les foyers sismiques. Allez dans le menu « Fichier » et exportez le résultat selon la projection équirectangulaire. Imprimez l'image en couleurs. **Tracez à la main les frontières des plaques tectoniques que ces données suggèrent. Donnez un titre à cette carte et comptez les plaques. Combien en avez-vous trouvé ?**

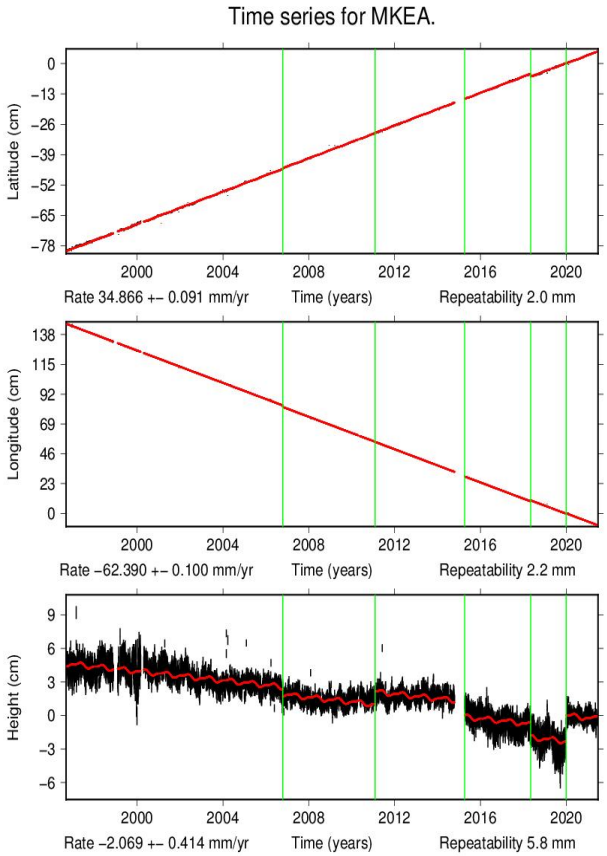
Exercices d'application

Exercice 26 : Le déplacement de Hawaï

L'âge absolu de cristallisation des roches volcaniques peut être déterminé par des méthodes radiométriques. Ces datations ont été appliquées aux roches qui forment les iles et les monts sous-marins de la chaine Hawaï-Empereur dans l'océan Pacifique. Cela permet de calculer les déplacements passés des plaques tectoniques. La méthode GPS permet quant à elle de calculer le déplacement actuel des plaques. **Déterminez la vitesse de déplacement de la plaque Pacifique et sa direction de deux manières différentes. Les résultats sont-ils compatibles ? Le déplacement de cette plaque a-t-il changé au cours du temps ?**



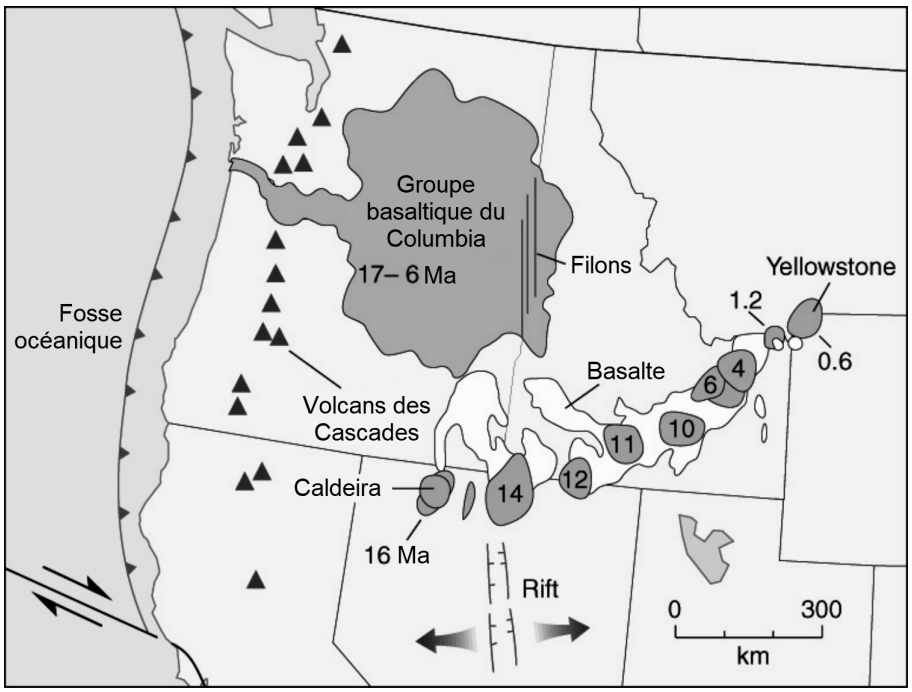
Document 1. Les âges des principaux édifices volcaniques de la chaine sous-marine Hawaï-Empereur.



Document 2. Les données GPS de la station MKEA. Cette station est située sur l'ile de Hawaï. Source : https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/links/MKEA.html

Exercice 27 : Le parc de Yellowstone

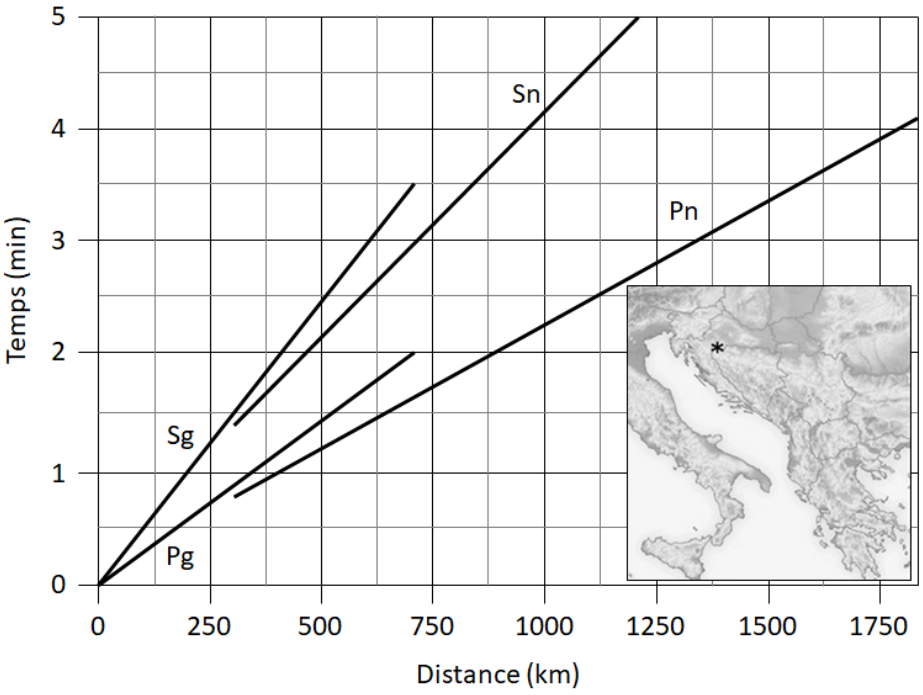
Yellowstone, célèbre pour ses geysers, est le plus ancien parc national du monde. Le site a connu de gigantesques éruptions volcaniques il y a 642 000 ans, formant une caldeira, c'est-à-dire un cratère formé par l'effondrement du toit de la chambre magmatique vidée de son magma. La région comprend d'autres caldeiras plus anciennes. **D'après le document ci-contre, donnez des arguments qui permettent d'affirmer que toutes ces caldeiras ont été causées par un unique point chaud. Calculez ensuite la vitesse et la direction de la plaque tectonique nord-américaine.**



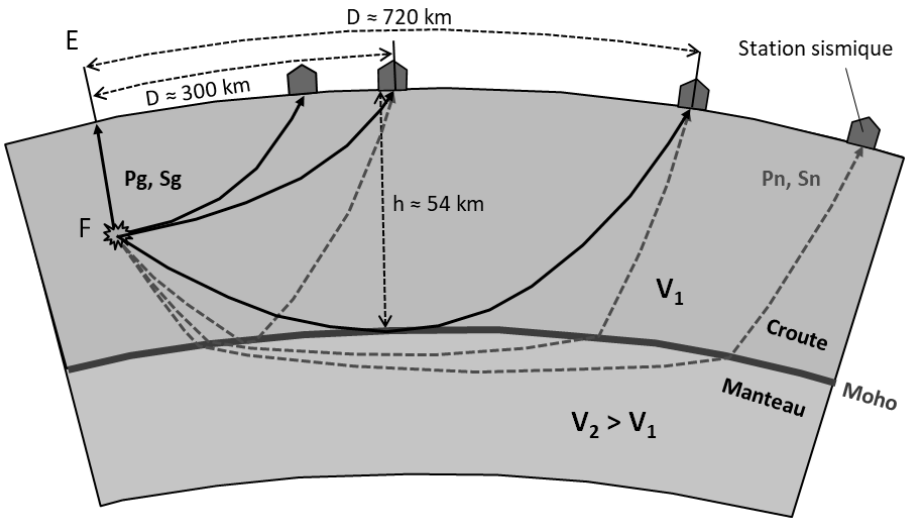
Document. Les édifices volcaniques récents de l'Ouest des États-Unis.

Étude de documents 7 : Le Moho

La Croatie a connu un terrible séisme en 1909. Le géophysicien croate Andrija Mohorovičić collecte des sismogrammes provenant de toute l'Europe pour étudier cet évènement. Il en déduit l'existence d'une discontinuité chimique, le Moho, séparant la croute continentale du manteau terrestre. **À l'aide des documents suivants et de vos connaissances, expliquez comment Andrija Mohorovičić est arrivé à cette conclusion et précisez les compositions chimiques de ces couches.**



<u>Document 1.</u> Hodochrone réalisé par Mohorovičić (1910). Les courbes indiquent le temps moyen qu'ont mis les ondes pour atteindre les différentes stations sismiques en fonction de leurs distances à l'épicentre (*la vitesse des ondes est donc l'inverse de la pente*). La carte indique la localisation de l'épicentre du séisme de 1909 près de Zagreb. Sur certains sismogrammes Mohorovičić repère deux trains successifs d'ondes P notés Pg et Pn, ainsi que deux trains d'ondes S notés Sg et Sn.



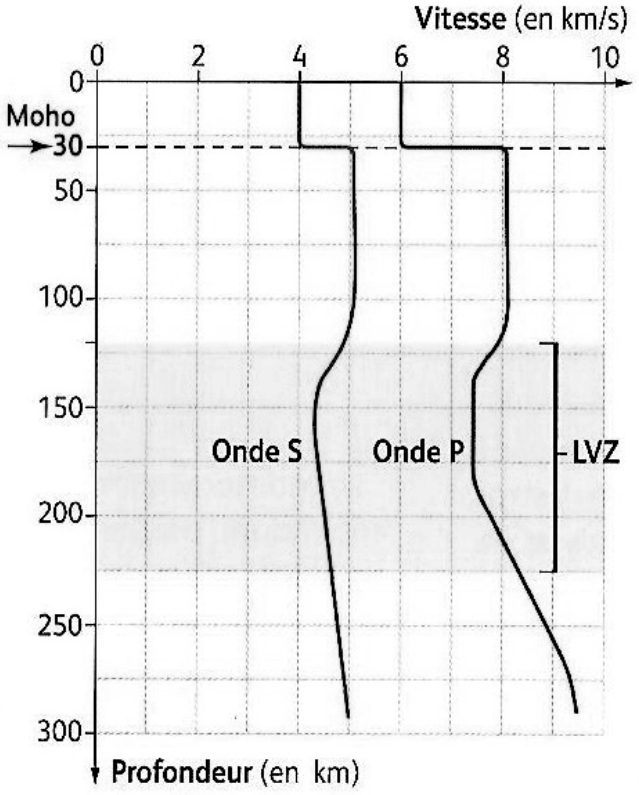
<u>Document 2.</u> Le modèle de propagation des ondes dans la croute de Mohorovičić (1910). Les ondes P et S se propagent de plus en plus rapidement dans la croute au fur et à mesure que la pression augmente, cela a pour effet de dévier les trajets des ondes directes Pg et Sg (les rais ne sont pas des lignes droites). La durée du trajet reste toutefois quasiment proportionnelle à la distance D qui sépare le sismographe de l'épicentre E.

Catégorie de roches	Vitesse des ondes P (en km/s)
Sédiments non consolidés	1,5 < v < 2,5
Sédiments consolidés	3,5 < v < 5,5
Granites	5,6 < v < 6,3
Basaltes	4,0 < v < 5,8
Gabbros	6,5 < v < 7,1
Gneiss	6,5 < v < 7,6
Péridotite	7,9 < v < 8,4

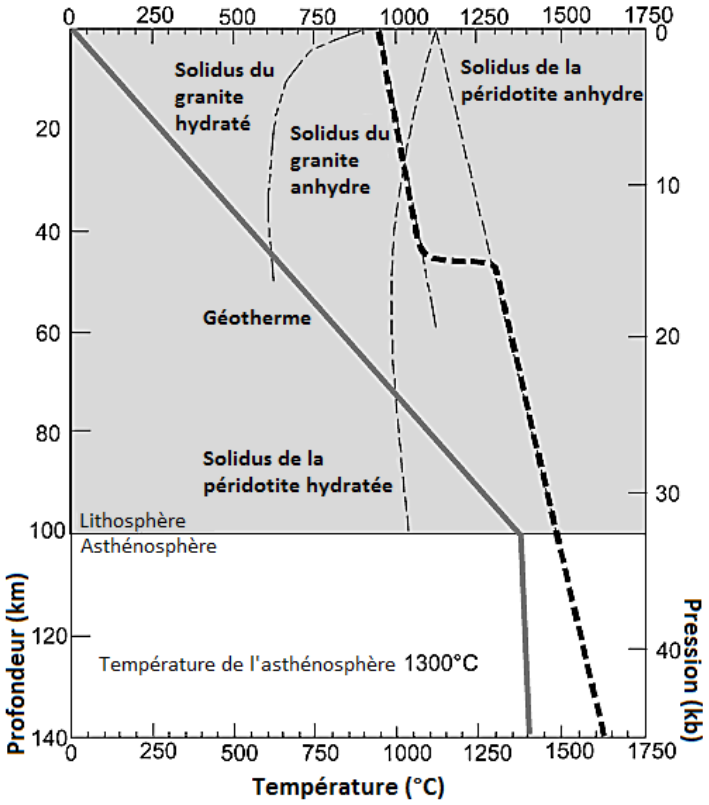
<u>Document 3.</u> Vitesses de propagation des ondes P dans différents types de roches. Données expérimentales.

Étude de documents 8 : Sous les continents

D'après la théorie de la dérive des continents, ceux-ci seraient analogues à des icebergs se déplaçant à la surface des océans. Un océan de magma se situerait-il donc sous nos pieds ? **Analysez rigoureusement les documents suivants et critiquez cette théorie de la dérive des continents.**



Document 1. Vitesse des ondes sismiques en fonction de la profondeur sous un continent.



Document 2. Gradient géothermique sous un continent et solidus de la péridotite et du granite anhydres et hydratés. Les pointillés épais représentent le solidus des matériaux réellement présents à chaque profondeur.

CHAPITRE XI : La convection mantellique

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Identifier	Repérer des discontinuités géologiques sur un graphique indiquant les vitesses des ondes sismiques en fonction de la profondeur			9	
Identifier	Lire et interpréter des images de tomographie sismique pour identifier l'emplacement des anomalies thermiques du manteau	18			
Manipuler	Réaliser une coupe avec le logiciel Tectoglob3D afin de montrer le plan de Wadachi-Benioff et calculer son pendage	18			

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Les différentes couches qui constituent la Terre en précisant leur profondeur, leur composition pétrographique, leur état (solide/liquide), et leur viscosité (rigide/ductile), ainsi que les modes de transferts de chaleur	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● La Terre, machine thermique

À l'aide de vos connaissances, expliquez comment se font les transferts thermiques vers la surface de la Terre et montrez comment ceux-ci sont à l'origine de la tectonique des plaques. *Votre réponse doit être structurée et comporter une illustration.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● La structure radiale de la Terre

Expliquez comment l'étude de la propagation des ondes sismiques dans le globe terrestre a permis de déterminer sa structure radiale. L'exposé de l'intérêt des ondes sismiques dans la compréhension de la mobilité lithosphérique n'est pas attendu. *Un schéma-bilan accompagnant la conclusion est exigé.*

Leçon 27 : Le modèle PREM

L'organisation du manteau et du noyau terrestre

La présence de deux zones d'ombre (une pour les ondes P, une pour les ondes S) montre l'existence d'une discontinuité à la fois chimique et mécanique séparant le ..... du noyau externe en fer liquide à ..... de profondeur, les ondes ..... ne s'y propagent pas. Celle-ci s'appelle la discontinuité de ..... . Il existe en plus une discontinuité mécanique à ..... de profondeur séparant le noyau externe du noyau interne en fer solide, aussi appelé la ..... .

L'ensemble des données sismiques analysées ont permis de produire un modèle radial de la Terre appelé PREM (pour *Preliminary Reference Earth Model*). Des estimations des vitesses moyennes des ondes sismiques P et S sont associées à toutes les ..... . On interprète les variations de ces vitesses par des variations de ..... , de ..... , d'..... , de ..... et de ..... .

La chaleur interne de la Terre

Le manteau est principalement chauffé dans sa masse par des isotopes ..... (uranium, thorium, potassium) plutôt que par sa base. La chaleur est transmise par ..... à travers la lithosphère et à travers chaque discontinuité, mais par ..... à l'état ..... dans le manteau sous-jacent, et par ..... à l'état ..... dans le noyau externe.

La convection est ..... efficace que la conduction, les couches convectives de la Terre ont donc une température ..... homogène et le gradient géothermique y est ..... (0,3 °C.km^{-1} dans le manteau contre 30 °C.km^{-1} dans la partie supérieure de la lithosphère).

Définitions

Conduction : Transfert de ..... de proche en proche sans transport de matière.

Convection : Transfert de chaleur accompagné d'un transport de ..... .

Zone d'ombre : Intervalle de distance angulaire à un ..... où aucun sismographe n'enregistre un type d'onde sismique particulière (par exemple la zone d'ombre pour les ondes P).

Leçon 28 : Le moteur de la tectonique des plaques

Les écarts au modèle PREM

La ..... sismique montre l'existence d'anomalies locales de vitesses des ondes sismiques dans le manteau par rapport au modèle PREM. Ainsi, les ondes se déplaçant en un lieu à une vitesse plus élevée que ce que prévoit le modèle PREM à cette profondeur indiquent localement l'existence d'une anomalie thermique ..... . À l'inverse une vitesse moins élevée indique une anomalie thermique ..... . Cela permet donc de ..... les hétérogénéités thermiques présentes dans le manteau. Celles-ci sont très faibles.

Les caractéristiques des zones de subduction

Une subduction océanique est l'enfoncement d'une ..... océanique dans le manteau terrestre. Ce phénomène provoque dans les fonds marins une dépression importante, longue mais étroite appelée ..... et marquée par une anomalie ..... du flux géothermique. À l'arrière de la fosse, à l'aplomb de la plaque chevauchante, on détecte au contraire une anomalie ..... du flux géothermique.

Les sédiments marins de la plaque ..... peuvent être raclés par la plaque ..... et s'accumuler sur celle-ci en formant une superposition d'écailles sédimentaires comprimées et déformées qu'on appelle un prisme d'accrétion.

La subduction s'accompagne d'une intense activité sismique car le panneau plongeant rigide conserve un comportement ..... jusqu'à une profondeur d'environ ..... . Au voisinage des fosses océaniques les foyers sismiques se répartissent sur un plan plus ou moins incliné appelé le plan de ..... . La tomographie sismique permet cependant de constater que la plaque subduite, signalée par des anomalies thermiques ..... , peut plonger bien plus profondément, jusqu'à la discontinuité de ..... .

La cause de la subduction

Au cours de l'expansion océanique le manteau lithosphérique se refroidit en ..... de l'axe de la dorsale. Ce refroidissement entraine un épaississement puisque la péridotite de l'asthénosphère qui était ductile devient ..... et s'intègre donc au manteau ..... , c'est un mode d'accrétion par sous-placage. En outre, le manteau lithosphérique est ..... dense que le manteau asthénosphérique. Une lithosphère océanique ancienne est donc à la fois ..... épaisse et ..... dense qu'une récente. La lithosphère océanique s'enfonce donc progressivement dans le manteau en vieillissant, c'est une subsidence ..... . Lorsque la densité de la lithosphère océanique dépasse celle de l'asthénosphère, elle peut entrer en ..... .

Le moteur de la tectonique des plaques est donc un mouvement de ..... mis en action par des panaches ..... de matière froide et ..... . Il n'y a pas de panaches ascendants de matière chaude sous les dorsales, la remontée du manteau y est ..... , ce ne sont pas les dorsales qui poussent les plaques.

Définitions

Tomographie sismique : Méthode de cartographie des ..... sismiques de la Terre.

Flux géothermique : Quantité de ..... dissipée par la Terre par unité de surface.

Subsidence : Affaissement progressif de la ..... .

TP 18 : Les indices sismiques de la subduction (1 h)

Matériel : Ordinateur; Logiciel Tectoglob3D ; Logiciel LibreOffice Writer ; Imprimante couleur.

On cherche ici à montrer le phénomène de subduction, c'est-à-dire le fait que la lithosphère océanique peut plonger profondément dans le manteau terrestre. Pour mettre en évidence les spécificités de ce phénomène nous allons le comparer aux zones d'accrétion océanique, c'est-à-dire les dorsales. Rendez-vous pour cela sur Tectoglob3D à l'adresse suivante : https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/tectoglob3d/

1) Affichez les foyers sismiques et les volcans, puis réalisez une coupe en 2D (dans le menu « Actions ») au niveau d'une dorsale. Affichez le Moho sur ces coupes (menu « Données affichées »). Faites une capture d'écran et collez l'image dans un document avec LibreOffice Writer. Faites de même une coupe au niveau d'une fosse océanique. Légendez et titrez vos images. **Quelles différences constate-t-on ?**

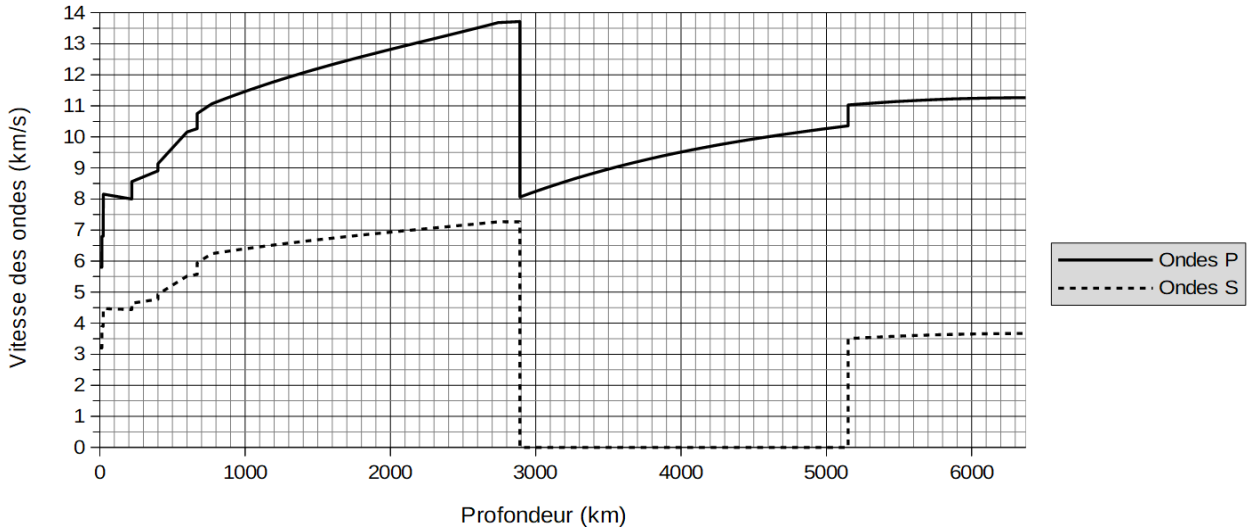
2) Réalisez de nouvelles coupes des zones de subduction, et cherchez les profondeurs maximales des foyers sismiques. **Quelle est cette profondeur, et quelle hypothèse peut-on formuler pour expliquer qu'il n'y ait pas de déclenchements de séismes plus profonds ?**

3) Dans le menu « Données affichées » choisissez maintenant le modèle de tomographie sismique Tx2019slab(P). Supprimez l'affichage du Moho pour une meilleure lisibilité. Faites une coupe au niveau d'une dorsale et d'une fosse océanique. **Quelle est l'ampleur générale des variations des vitesses des ondes sismiques par rapport au modèle PREM ? Qu'observe-t-on de particulier sous les dorsales et dans les zones de subduction ? Comment peut-on l'expliquer ? Quelle est la profondeur maximale des plaques plongeantes ?**

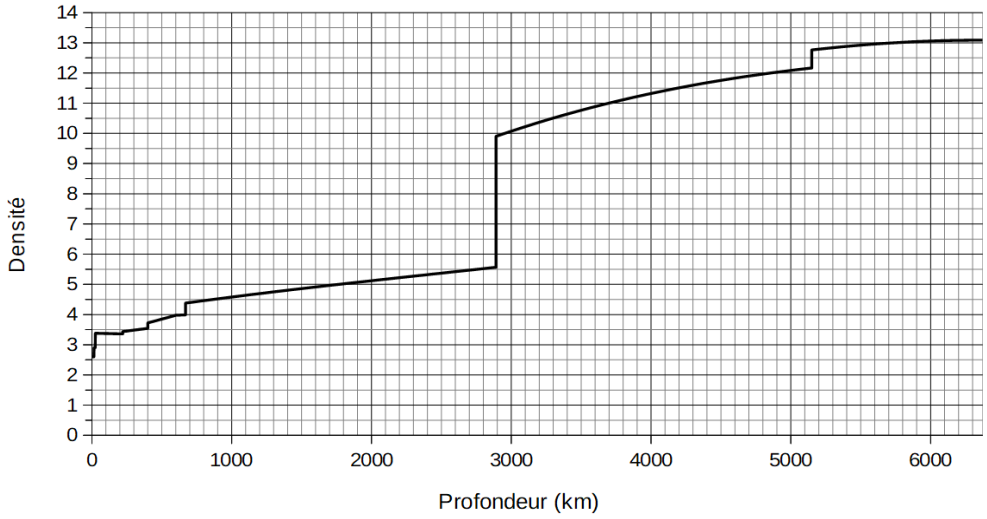
4) Dans le menu « Options », choisissez « Coupes en 3D », ajustez l'exagération verticale et faites une capture d'écran. Collez l'image dans LibreOffice, légendez-la et titrez-la. **Imprimez votre travail.**

Étude de documents 9 : L'intérieur de la Terre

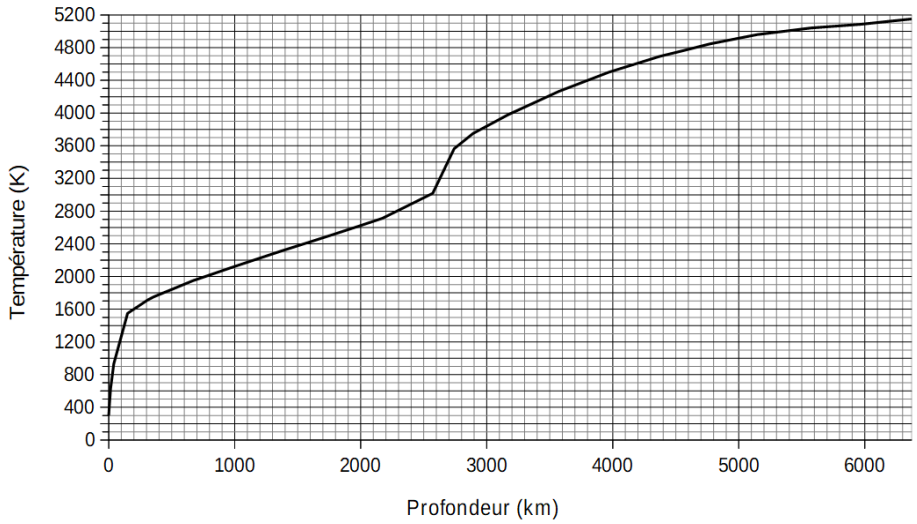
L'intérieur de la Terre est connu de manière indirecte entre autres grâce à l'étude des ondes sismiques qui la traversent. **À l'aide des documents suivants et de vos connaissances, proposez un modèle radial de la Terre aussi précis que possible.** *Vous devez identifier les différentes couches qui constituent la Terre et les discontinuités qui les séparent, argumenter leur composition et leur état physique, et repérer les éventuelles zones de convection.*



Document 1. Les vitesses des ondes sismiques en fonction de la profondeur sur Terre.



Document 2. La densité en fonction de la profondeur sur Terre.



Document 3. Le géotherme terrestre.

CHAPITRE XII : La formation du domaine océanique

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Déduire	Montrer que la fusion partielle d'un matériau peut produire un liquide et un résidu de compositions différentes		28		
Déduire	Mettre en relation le flux géothermique, l'épaisseur de la lithosphère océanique, son âge, sa densité et sa profondeur	19		10	
Construire	Interpréter des données géomagnétiques pour construire une échelle des temps géologiques		29		
Calculer	Calculer des vitesses d'expansion océanique en utilisant des données géomagnétiques	19	30, 31		
Calculer	Calculer des vitesses d'expansion océanique en utilisant des données sédimentaires	19	31, 32		

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Un processus d'ouverture d'un nouvel océan avec rifting continental, océanisation et expansion océanique	
Accumulation de sédiments sur une lithosphère océanique en subsidence au cours de l'expansion océanique	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● De l'asthénosphère aux plaines abyssales

Expliquez à l'aide de vos connaissances comment les roches magmatiques de la croute océanique sont produites. Vous détaillerez la structure de la croute océanique et expliquerez ses variations suivant le type de dorsale. *Votre exposé doit s'appuyer des arguments scientifiques, inclure un plan bien structuré et un schéma-bilan pour illustrer votre conclusion.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Subduction et expansion océaniques

À l'aide de vos connaissances, vous expliciterez le lien de causalité qui unit les phénomènes de la subduction océanique et de l'expansion océanique. Vous préciserez ainsi en quoi la dynamique de la lithosphère océanique s'inscrit dans le mécanisme général de la convection mantellique. *Votre réponse doit comprendre au moins une illustration et être structurée par un plan pertinent.*

Leçon 29 : L'accrétion océanique

Le rifting continental

Les forces de divergence entrainent un étirement et un amincissement de la lithosphère continentale, c'est l'étape du ..... continental. Cela forme une dépression (par subsidence tectonique) longue et étroite qui peut être occupée par des lacs (ou envahie par l'océan) dans lesquels se déposent des ..... . Le manteau lithosphérique se déforme de manière plutôt ..... par rapport à la croute supérieure qui est bien plus ..... , ce qui se manifeste par des failles ..... séparant de grands blocs rocheux en cours de basculement.

Le magmatisme océanique

L'amincissement de la lithosphère continentale provoque la remontée de l'..... qui se décomprime sans se refroidir. Le flux ..... est donc plus important au niveau du rift. La décompression sans refroidissement de la péridotite lui fait traverser son ..... . Elle fond alors ..... (environ 20 % à 25 %). Les éléments ..... ont tendance à rester dans le résidu solide tandis que les éléments ..... ont tendance à se déplacer dans le magma. Ce dernier migre jusqu'à la ..... et forme une nouvelle croute océanique. C'est l'étape de l'..... . À la fin de celle-ci les blocs continentaux cessent de basculer et forment une marge continentale ..... .

Les types de dorsales

Cette océanisation se poursuit par une ..... océanique : la divergence des plaques de part et d'autre de la ..... permet la mise en place progressive d'une nouvelle lithosphère océanique. L'activité magmatique de la dorsale peut être plus ou moins importante en fonction de la ..... de l'expansion océanique. On distingue ainsi des dorsales rapides faisant remonter rapidement l'asthénosphère et produisant donc des croutes ..... , et des dorsales lentes produisant des croutes ..... laissant parfois affleurer des zones du manteau (donc des péridotites).

Définitions

Fusion partielle : Fusion incomplète d'un matériau par franchissement de son ..... (le liquide de fusion et le résidu solide n'ont alors pas la même composition, contrairement à une fusion totale).

Incompatible : Se dit d'un élément qui dans un matériau partiellement fondu se concentre préférentiellement dans la phase ..... plutôt que dans la phase ..... (donc « incompatible » avec les réseaux cristallins).

Leçon 30 : La vitesse d'expansion océanique

La méthode du paléomagnétisme

Les courants convectifs de fer ..... dans le noyau externe de la Terre génèrent un champ magnétique. Celui-ci s'inverse à intervalles ..... . Le calendrier de ces inversions s'appelle l'échelle de temps ..... ou ..... , elle est divisée en chrons et en sous-chrons.

Un matériau n'est pas aimanté si ses atomes sont orientés ..... . Lorsqu'on applique un champ magnétique extérieur à un matériau magnétique ses atomes tendent à ..... sur les vecteurs de ce champ (il s'agit d'une excitation magnétique). Le matériau produit alors son propre champ magnétique, c'est un champ magnétique ..... . Parmi les matériaux magnétiques, les matériaux ..... conservent une partie de l'aimantation induite lorsqu'ils passent ..... de leur température de Curie : on parle alors d'aimantation ..... (ou ..... ou .....).

Certains ..... contenus dans les roches magmatiques sont ferromagnétiques (magnétite, hématite, pyrrhotite), ils conservent donc après leur refroidissement l'..... du champ magnétique terrestre auquel ils ont été soumis. Lorsque l'on utilise un teslamètre au dessus d'une roche ayant une aimantation rémanente, celui-ci mesure une intensité égale à la somme ou bien à la différence de l'intensité du champ magnétique terrestre actuel et du champ magnétique rémanent de la roche selon s'ils sont orientés dans le ..... sens ou dans des sens ..... respectivement. On parle dans le premier cas d'anomalie magnétique ..... , et dans le second cas d'anomalie magnétique ..... . Il est ainsi possible de déduire si l'orientation du champ magnétique terrestre au moment de la formation de la roche était dans le même sens que le champ magnétique actuel (polarité .....) ou bien dans le sens opposé (polarité .....).

On constate un ..... et une ..... des anomalies magnétiques enregistrées de part et d'autre de l'axe des dorsales. La comparaison entre le profil des anomalies et l'échelle magnétostratigraphique montre que les roches sont de plus en plus ..... au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cet axe. Cela montre que le plancher océanique se forme progressivement par le refroidissement et l'..... d'un matériau chaud au niveau de l'axe des dorsales tandis que les roches plus anciennes s'en éloignent. Connaissant la distance actuelle qui sépare certaines roches de même ..... de part et d'autre de l'axe, il est possible de calculer une vitesse d'..... océanique correspondant à la quantité de ..... océanique produit par unité de temps.

La méthode des dépôts sédimentaires

Les sédiments marins se déposent ..... sur le plancher océanique au fur et à mesure de l'..... de celui-ci à partir de l'axe de la dorsale. La couche de sédiments doit donc être ..... près de la dorsale et ..... loin de celle-ci. Ainsi, les sédiments directement en contact avec les basaltes de la croute magmatique doivent être plus ..... loin de la dorsale, et plus ..... près de celle-ci. La réalisation de nombreux ..... de sédiments sous-marins dans tous les océans de la planète a permis de confirmer cela. Les datations des sédiments ont été effectuées à l'aide des ..... marins qu'ils contiennent.

Définitions

Ferromagnétique : Qualifie un matériau capable d'avoir une aimantation ..... , c'est-à-dire en l'absence de l'application d'un champ magnétique extérieur.
Température de Curie : Température ..... de laquelle un matériau ferromagnétique devient capable de maintenir une aimantation permanente.
Anomalie magnétique : Différence entre le champ magnétique ..... localement et le champ magnétique théoriquement attendu à cet endroit.

TP 19 : Le plancher océanique en expansion (1 h)

1re Manipulation : Le flux géothermique et les sédiments marins (30 min)

Matériel : Ordinateur ; Logiciel Tectoglob3D (https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/tectoglob3d/).

1) Rendez-vous sur Tectoglob3D et affichez la carte du flux géothermique (dans le menu « Données affichées » puis « Autres données »). **Que constate-t-on ? Quelle hypothèse pourrait-on formuler ?**

2) On s'intéresse maintenant à l'âge des sédiments marins. Ajoutez un « Repère géographique » n'importe en double-cliquant sur la carte après avoir choisi le menu approprié (dans « Actions » puis « Ajouter/gérer objet »). Réglez les paramètres de ce repère aux **coordonnées -27,4° N -13,4° E** pour repérer le tronçon de dorsale de l'Atlantique Sud que l'on souhaite étudier.

3) Affichez la « Carte géologique mondiale » (dans « Données affichées » puis « Cartes géologiques »).

4) Grâce à l'action « Mesurer une distance », mesurez l'écart entre deux points de même âge de part et d'autre de la dorsale. Utilisez la légende « Âge de la croute océanique » pour connaitre l'âge des sédiments aux 2 points choisis.

5) **Calculez enfin la vitesse de l'expansion océanique grâce à ces informations.**

2e Manipulation : Les anomalies magnétiques (30 min)

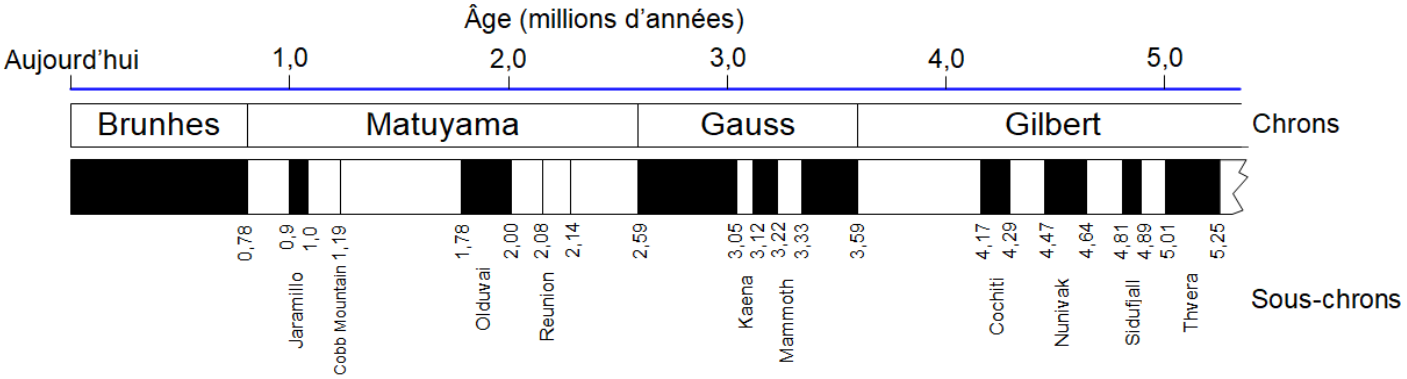
Matériel : Maquette ; Teslamètre ; Papier millimétré.

La zone précédemment étudiée a été modélisée grâce à une maquette représentant les fonds marins. Les pointillés symbolisent le trajet d'un bateau océanographique faisant des relevés du champ magnétique terrestre. **On souhaite réaliser un profil des anomalies magnétiques de cette région et ainsi calculer la vitesse de l'expansion océanique.**

1) **Suivez le protocole** pour relever les valeurs positives et négatives du champ magnétique le long du trajet du bateau (tous les 1,5 cm).

2) **Réalisez un graphique** sur le papier millimétré qui vous est fourni représentant les anomalies magnétiques que vous avez mesurées en fonction de la distance parcourue (vous diviserez l'échelle par 3, vous placerez donc un point tous les 0,5 cm). Reliez les points par des segments à la règle.

3) **Déterminez enfin la vitesse de l'expansion océanique en vous servant de l'échelle géomagnétique ci-dessous.**



Document 2. L'échelle magnétostratigraphique des 5 derniers millions d'années.

Exercices d'application

Exercice 28 : Fusion de péridotite en laboratoire

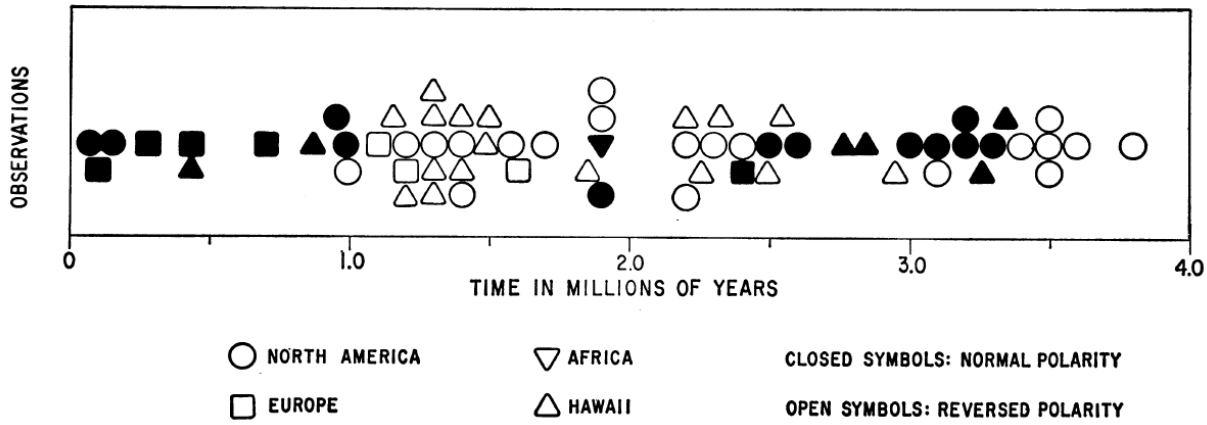
Des échantillons de péridotites broyées sont placés en autoclave afin d'obtenir une fusion partielle de 5 à 40 % ; la fraction fondue est collectée, refroidie puis analysée. **Analysez le document ci-dessous, identifiez quels sont les éléments compatibles et incompatibles, puis déterminez le taux de fusion de la péridotite responsable du magmatisme des dorsales.**

Composition chimique (oxydes)	Basalte de la dorsale	Péridotite utilisée lors de l'expérience	Pourcentage de fusion (en masse) Composition du magma					
			5 %	15 %	20 %	25 %	30 %	40 %
SiO_2	48	44,9	47	48	48,6	50,1	50,5	51,6
Al_2O_3	14,3	3,2	15,7	13,2	12,8	11,8	10,5	7,8
Fe_2O_3	11	8,6	13,9	12,1	8,9	8,3	8,9	8,4
MgO	12	40	10,4	12	15,4	18,8	19,2	23,9
CaO	12	3	9,2	12,6	13,2	10,1	9,9	7,4
Na_2O	2,2	0,2	2,6	1,5	1,1	0,8	0,9	0,8
K_2O	0,5	0,1	1,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1

Document. Fusion partielle expérimentale de la péridotite et composition chimique du basalte.

Exercice 29 : La construction de l'échelle géomagnétique

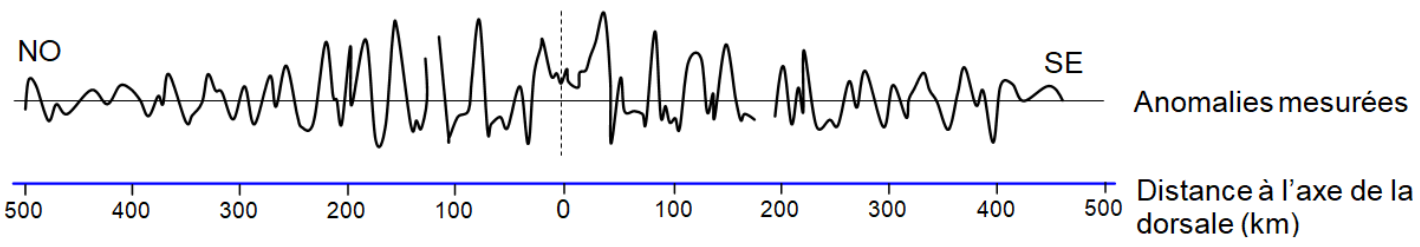
En 1963 et 1964, Allan Cox, Richard R. Doell et G. Brent Dalrymple proposent les premières échelles de temps des polarités géomagnétiques (*geomagnetic polarity timescale* ou GPTS) en corrélant les polarités mesurées de 64 coulées de roches volcaniques d'âges connus. **À partir des mêmes données, construisez votre propre échelle magnétostratigraphique. Comparez votre échelle à celle du TP 19 et expliquez les différences constatées.**



Document. Les mesures recueillies et publiées par Cox et ses collaborateurs.

Exercice 30 : L'expansion océanique dans le Sud-Est du Pacifique

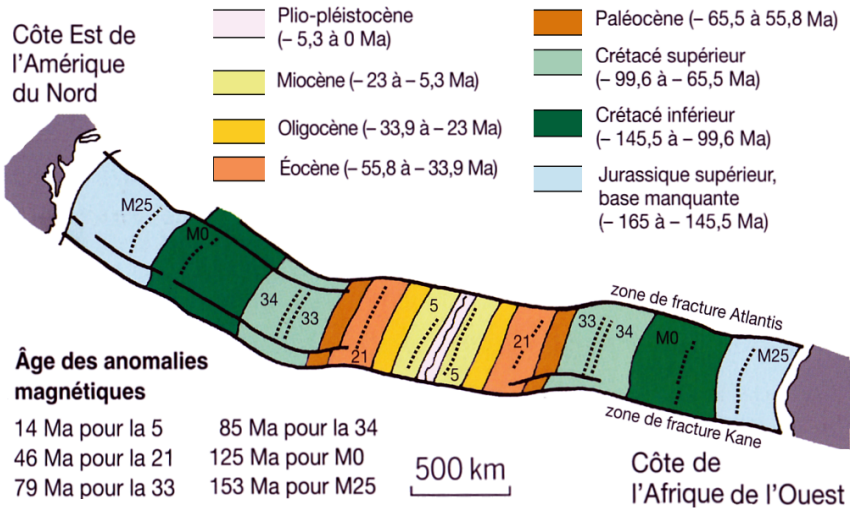
Identifiez les limites des chrons de Brunhes et de Matuyama sur le document ci-dessous à l'aide de l'échelle magnétostratigraphique du TP 19, puis calculez la vitesse d'expansion océanique au niveau de la dorsale est-Pacifique.



Document. Anomalies magnétiques mesurées de part et d'autre de la dorsale est-Pacifique.

Exercice 31 : Les sédiments de l'océan Atlantique Nord

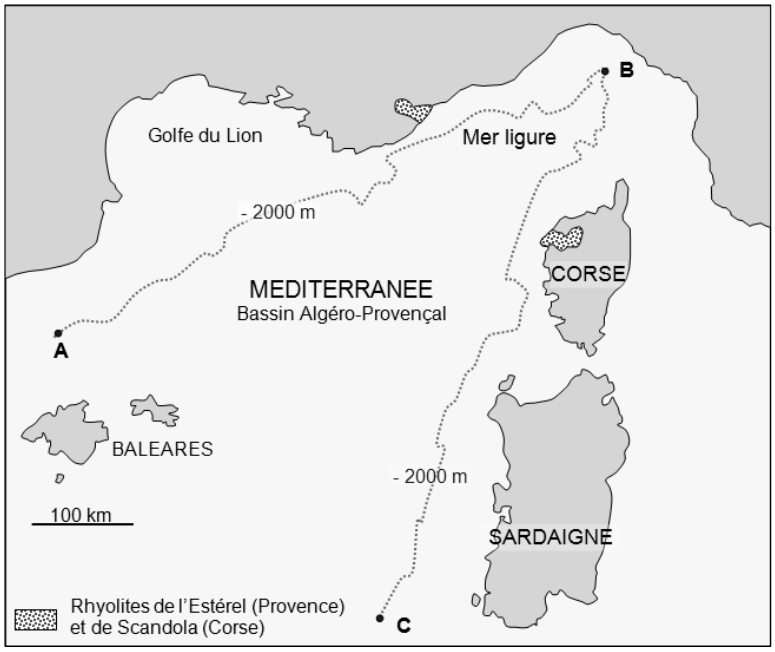
Les sédiments marins peuvent être datés à l'aide des microfossiles qu'ils contiennent, c'est une méthode paléontologique. **À l'aide du fragment de carte présenté sur le document ci-dessous, calculez de deux manières différentes la vitesse de l'expansion océanique dans l'océan Atlantique Nord. Ces vitesses concordent-elles ?**



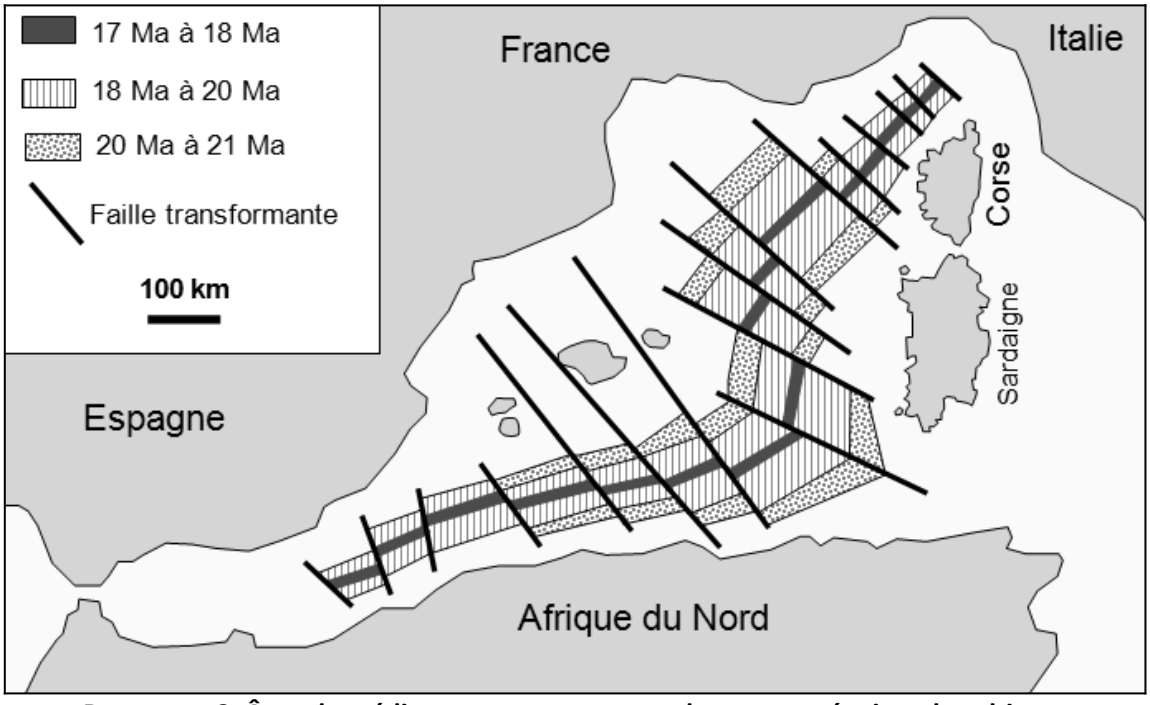
Document. Les âges des principales anomalies magnétiques et des sédiments au contact de la croute basaltique dans l'océan Atlantique Nord. Les zones de fracture sont de grandes failles transformantes.

Exercice 32 : La rotation du bloc corso-sarde

À l'aide des documents suivants montrez que le bloc corso-sarde n'a pas toujours été dans sa position actuelle relativement au reste du continent européen. Calculez la vitesse maximale d'expansion du plancher océanique dans le bassin algéro-provençal. Pourquoi cette vitesse est-elle variable selon l'endroit où on la calcule ?



Document 1. Délimitation du plateau continental dans le bassin algéro-provençal. Les rhyolites de l'Estérel et de Scandola ont le même âge (Permien). On trouve à 2 000 m de profondeur des structures en blocs basculés.



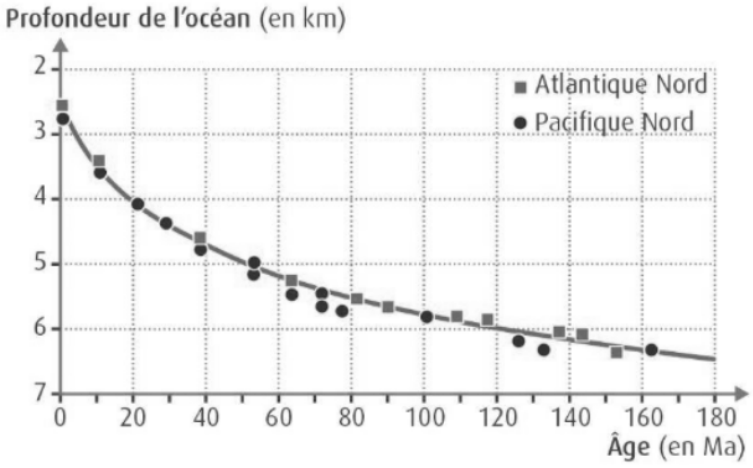
Document 2. Âges des sédiments en contact avec la croute océanique basaltique.

Étude de documents 10 : La subsidence du plancher océanique

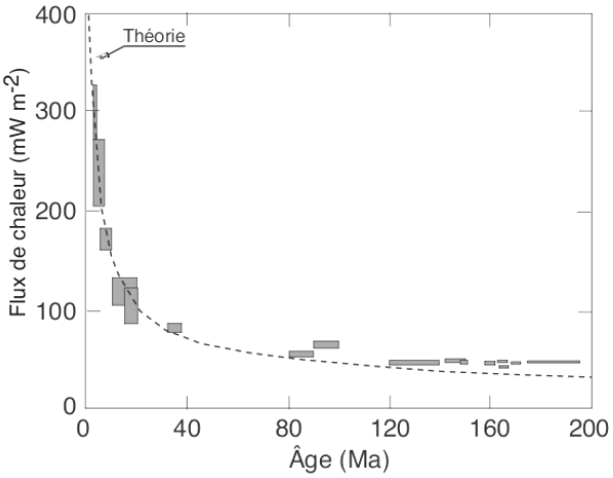
Les dorsales océaniques sont de vastes chaines de montagnes sous-marines qui s'élèvent à plus de 2 000 m au-dessus des plaines abyssales environnantes. Les dorsales sont aussi le lieu de naissance de la croute océanique. On cherche à expliquer ces reliefs particuliers.

Montrez à l'aide des documents suivants et de vos connaissances comment la subsidence thermique du plancher océanique est responsable des différences de profondeur entre les dorsales océaniques et les plaines abyssales.

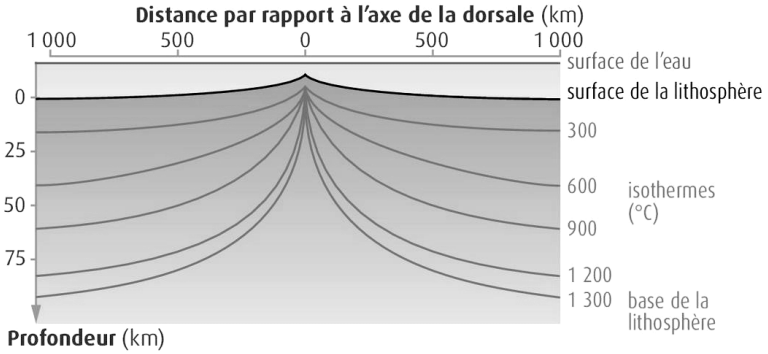
Aucun calcul n'est exigé.



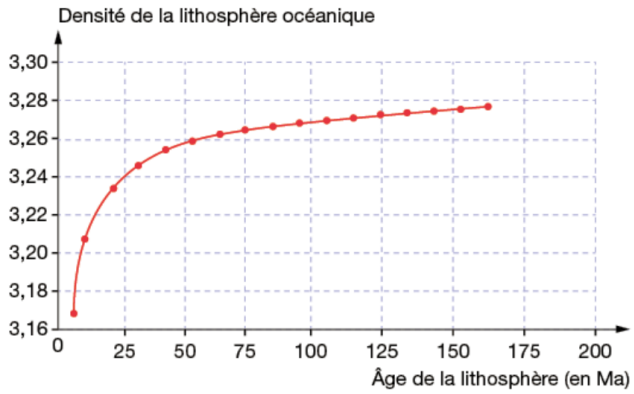
Document 1. Les profondeurs des océans en fonction de l'âge de la croute océanique. La courbe indique la tendance moyenne.



Document 2. Le flux géothermique du plancher océanique en fonction de son âge. La courbe en pointillés représente un calcul avec une équation théorique modélisant la dissipation de la chaleur à travers la lithosphère océanique. Les boites grises représentent la variabilité des données mesurées pour chaque tranche d'âge.



Document 3. Les profondeurs des isothermes sous le plancher océanique. On considère généralement que l'isotherme de 1 300 °C marque la frontière entre la lithosphère et l'asthénosphère.



Document 4. La densité moyenne de la lithosphère océanique en fonction de son âge. On considère que la péridotite du manteau lithosphérique a une densité d'environ 3,3 tandis que la croute océanique a une densité autour de 3. L'asthénosphère a plutôt une densité de 3,25.

CHAPITRE XIII : La formation du domaine continental

Habiletés à maitriser

Type	Description	TP	Exercice	Étude de docs	Prêt ?
Identifier	Reconnaitre des roches à l'œil nu	20, 21			
Identifier	Lire et interpréter un profil de réflexion sismique (ECORS) montrant un écaillage ainsi que la présence d'une racine crustale	21			
Manipuler	Utiliser le microscope polarisant et reconnaitre des minéraux dans une lame mince	20, 21			
Calculer	Calculer les densités de différentes roches	20			
Calculer	Calculer la profondeur du Moho grâce aux temps d'arrivées des ondes sismiques	21			
Construire	Imaginer et mettre en œuvre un modèle analogique de collision	21			

Schémas à connaitre

Description	Prêt ?
Les métamorphismes océaniques (hydratations et déshydratations successives) dans la lithosphère océanique, de la zone d'expansion à la zone de subduction, avec la production de magma sur le chevauchante	
Une zone de collision exposant les principaux indices structuraux et pétrographiques de cet évènement (plis, nappe de charriage, ophiolite, racine crustale, métamorphisme)	

Exemple de sujet de synthèse ciblé

● Les cycles orogéniques

À l'aide de vos connaissances, expliquez comment les chaines de montagnes apparaissent et disparaissent en vous appuyant sur les roches et les structures géologiques de ces régions. *Votre réponse doit être structurée et inclure un schéma.*

Exemple de sujet de synthèse transversal

● Les causes du magmatisme terrestre

Les phénomènes magmatiques se produisent dans des contextes géologiques variés. **Expliquez quels sont les différents mécanismes qui permettent la fusion partielle de la péridotite.** *Il est attendu que votre réponse soit illustrée et bien structurée.*

Leçon 31 : Les métamorphismes des roches océaniques

Le métamorphisme hydrothermal

L'eau de mer froide s'infiltre dans les failles et les fractures de la ..... océanique. L'eau réagit chimiquement (hydratation) avec les minéraux des roches sous l'effet de la ..... élevée. Enfin, cette eau remonte à la surface et s'échappe par des sources hydrothermales ou ..... . Dans les gabbros, les pyroxènes réagissent avec l'eau et les plagioclases qui les entourent et forment ainsi des ..... de hornblende, une amphibole sombre : la roche est alors devenue un ..... du faciès amphibolite.

La hornblende peut ensuite continuer à réagir avec l'eau et le plagioclase et produire ainsi de l'actinote et de la chlorite, deux minéraux verts : la roche est maintenant devenue un métagabbro du faciès ..... . Dans les péridotites, l'eau réagit avec l'olivine et les pyroxènes pour former principalement de la ..... . Ce processus métamorphique s'appelle la ..... et il en résulte une roche appelée la ..... . Contrairement aux pyroxènes et aux plagioclases, les amphiboles et les serpentines sont des familles de minéraux ..... (présence de groupes OH), ce qui témoigne de la réaction de ces roches avec l'eau.

Le métamorphisme de subduction

En commençant à s'enfoncer dans le manteau les métagabbros de la croute océanique subissent un métamorphisme de ..... pression ..... température. Du ..... (une amphibole bleue) se forme autour des pyroxènes résiduels et de l'eau est libérée : c'est le faciès ..... . Avec la poursuite de la subduction océanique les métagabbros du faciès schiste bleu subissent un métamorphisme encore plus poussé appelé ..... et qui les transforme en ..... . De ..... est à nouveau libérée au cours de ce processus.

La densité d'une éclogite est d'environ ..... ce qui est ..... élevé que la densité du manteau supérieur. Ce métamorphisme de subduction ..... donc encore davantage la densité du panneau plongeant qui exerce ainsi une traction supplémentaire sur le reste de la ..... tectonique.

Le mécanisme de fusion partielle

Le géotherme de la zone de subduction ne traverse jamais le solidus de la péridotite ..... . Cependant l'eau libérée par le ..... de subduction hydrate le coin de manteau asthénosphérique sous la plaque ..... ce qui provoque une fusion partielle (environ 10 %). Le géotherme traverse en effet le solidus hydraté de la péridotite vers ..... de profondeur. Par contre les roches de la plaque ..... ne traversent pas leurs solidus (ni anhydre ni hydraté) et ne fondent donc pas.

Définitions

Métagabbro : Roche issue de la transformation métamorphique d'un ..... .

Faciès : Catégorie de roches métamorphiques caractérisées par des assemblages particuliers de ..... associés à des domaines de ..... et de ..... délimités.

Serpentinisation : Transformation métamorphique d'une ..... en serpentinite.

Éclogitisation : Transformation métamorphique d'un ..... en éclogite.

Leçon 32 : Le magmatisme des zones de subduction

La différenciation magmatique

Les magmas riches en ..... ainsi produits migrent vers la croute de la plaque ..... et s'accumulent dans des chambres magmatiques. Tout au long de leur ascension les magmas subissent une différenciation principalement grâce à la cristallisation ..... .

Au fur et à mesure de leur refroidissement et de leur migration les éléments compatibles comme le ..... et le ..... forment des minéraux de manière précoce tandis que les éléments incompatibles comme le ..... et le ..... persistent d'abord dans la phase liquide de plus en plus froide et ne cristallisent qu'en dernier. Les roches obtenues au fil de ce processus ont des compositions minéralogiques différentes, mais contiennent toujours des minéraux ..... (amphiboles ou micas).

Les reliefs sur la plaque chevauchante

Les magmas de subduction peuvent cristalliser en profondeur sous forme de ..... qui participent à l'accrétion continentale, ou se manifester par des laves à la surface. Celles-ci sont alors généralement enrichies en ..... , ce qui les rend ..... . Elles sont de plus souvent riches en ..... (essentiellement H_2O et CO_2). La combinaison de ces deux facteurs donne lieu à un volcanisme de type ..... .

Si la lithosphère chevauchante est de type ..... le volcanisme de subduction produit un arc volcanique. Si elle est de type continental les volcans se mettent en place au sein de vastes chaines de montagnes appelées ..... qui sont le résultat de la déformation et de l'épaississement de la croute continentale lors de son affrontement avec la plaque plongeante.

Définitions

Cristallisation fractionnée : Solidification progressive d'un magma accompagnée d'une ..... graduelle de la phase liquide.

Leçon 33 : La collision continentale

Le déroulement de la collision

La subduction complète d'une lithosphère ..... peut conduire à la rencontre de deux lithosphères continentales de densités égales et ..... à celle de l'asthénosphère. Il se produit alors un raccourcissement et un épaississement crustaux tant que la ..... de la plaque plongeante continue. Cela se manifeste topographiquement par une chaine de ..... , c'est une orogenèse. Le poids de ces forts reliefs est alors compensé par la présence d'une ..... crustale très importante mais dont la densité est inférieure à celle du ..... .

Les reliefs subissent une ..... constante. Ce rabotage entraine un soulèvement de la lithosphère continentale qui permet d'..... des roches très profondément enfouies. Cela conduit finalement à une ..... et à la disparition de la racine crustale.

Les indices structuraux de la collision

La collision des continents entraine l'apparition en surface de systèmes de failles ..... . Les roches y ont en effet un comportement ..... . En profondeur les roches de la croute sont plus ..... à cause de la pression et de la température élevées, les contraintes s'y manifestent donc plutôt par des ..... . Les lambeaux de croute ainsi fracturés et plissés peuvent s'empiler et former localement des ..... . L'écaillage de la croute peut finalement produire des déplacements horizontaux de grande envergure appelés ..... .

Les indices pétrographiques de la collision

Lors de la collision des fragments de lithosphère océanique peuvent se retrouver coincés entre des écailles de lithosphère ..... et ainsi être charriés dans les montagnes marquant la suture entre les deux ..... . Ces assemblages perchés de roches océaniques sont alors nommés ..... . Celles-ci peuvent être accompagnées de roches sédimentaires océaniques comme les ..... qui ne peuvent se déposer que dans les milieux calmes et très ..... (au moins 4 000 m de profondeur).

Les roches profondément ..... lors de la collision puis progressivement exhumées peuvent être métamorphisées. Les granites peuvent ainsi s'être transformés en ..... , roche de même composition minéralogique mais exhibant une foliation résultant de déformations ..... . Les roches sédimentaires continentales argileuses peuvent de même se transformer en ..... . Ces roches métamorphiques contiennent souvent des minéraux caractéristiques des hautes pressions comme le ..... . Les températures très élevées à la base de la racine crustale peuvent conduire à la fusion partielle ou totale des granites, et ainsi former respectivement des ..... ou de nouveaux granites.

Définitions

Orogenèse : Processus de formation des chaines de ..... .

Pénéplanation : Processus de disparition des ..... à cause de l'érosion.

Ophiolite : Lambeau de lithosphère ..... charrié sur une lithosphère ..... .

Foliation : Alternance dans une roche de lits de ..... distincts manifestant une orientation préférentielle.

Schistosité : Disposition des minéraux d'une roche selon une orientation préférentielle sous la forme de feuillets de ..... composition.

TP 20 : Les faciès métamorphiques (2 h)

1re Manipulation : Observations des roches et de leurs minéraux (1 h 30)

Matériel : Microscope polarisant ; Ordinateur avec caméra ToupCam ; Logiciel ToupView ; Logiciel LibreOffice Writer ; Imprimante couleur ; Lames minces de roches ; Aiguille lancéolée ; Lampe ; Loupe à main ; Roches.

1) Nous allons décrire ensemble les minéraux des roches à notre disposition. Cela nous permettra d'en déduire les noms de ces minéraux et de ces roches.

2) Observez les lames minces dont vous disposez et faites des photos en LPA et en LPNA de chaque lame mince. Choisissez des vues contenant des minéraux caractéristiques. Placez les images dans un document LibreOffice Writer, rognez-les et redimensionnez-les. Légendez et titrez convenablement les photos. Imprimez enfin votre travail.

2e Manipulation : Les densités des roches (30 min)

Matériel : Bécher ; Éprouvette ; Eau du robinet ; Chiffon ; Balance (au fond de la salle) ; Sachets de roches.

Mesurez les volumes et les masses des échantillons à votre disposition et calculez leurs densités. Comparez vos résultats à ceux des autres binômes de la classe (notez-les). **Comparez les densités de l'éclogite et du métagabbro à glaucophane à celles du gabbro et de la péridotite. Quelle conséquence ces densités ont-elles sur la subduction ?**

TP 21 : La tectonique et la pétrologie de collision (2 h)

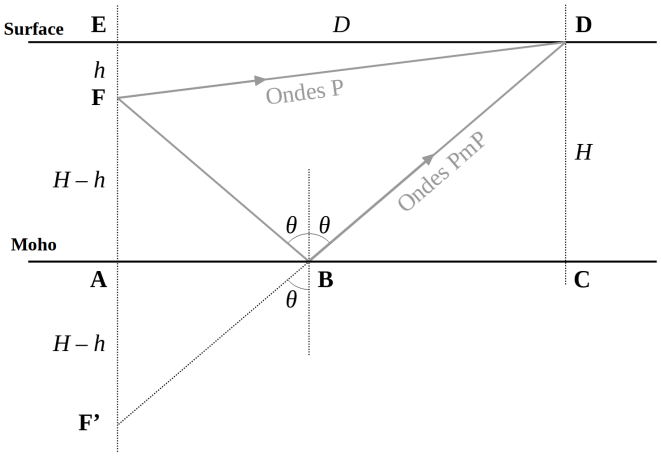
1re Manipulation : Les conséquences de la collision (1 h)

Matériel : Farine ; Café ; Petite boite en plastique ; Profil de sismique réflexion des Alpes (programme ECORS).

1) À l'aide du matériel à votre disposition, construisez un modèle de croute stratifiée et exécutez un mouvement de convergence pour simuler une convergence. **Schématisez et interprétez le résultat.**

2) Surlignez les réflecteurs sur le profil de sismique réflexion distribué. **Comment la collision se manifeste-t-elle ?**

3) Le séisme du 14/03/2016 qui a eu lieu au Nord-Ouest de l'Italie à 4 km de profondeur a été détecté par la station sismique française OGGM de l'autre côté des Alpes à 130 km du foyer. Les ondes P détectées par cette station ont parcouru un trajet direct pendant 22,2 s alors que les ondes PmP ont parcouru un trajet réfléchi pendant 28,4 s. À l'aide du schéma ci-contre, **calculez** la profondeur *H* du Moho sous les Alpes.



Document. La réflexion des ondes sismiques. F est le foyer. E est l'épicentre. D est la position du sismographe.

2e Manipulation : Observation d'un gneiss (1 h)

Matériel : Microscope polarisant ; Ordinateur avec caméra ; Logiciel ToupView ; Logiciel LibreOffice Writer ; Imprimante couleur ; Lame mince de gneiss ; Aiguille lancéolée ; Lampe ; Loupe à main ; Gneiss.

1) Observez à la loupe l'échantillon de gneiss dont vous disposez, décrivez ses minéraux et leur organisation particulière.

2) Observez la lame mince de gneiss au microscope polarisant et prenez deux photos en LPNA et LPA de la même vue de manière à mettre en évidence l'organisation particulière des minéraux dans cette roche. Placez les images dans un document LibreOffice, rognez-les et redimensionnez-les de manière à ce qu'elle tiennent sur une seule page. Légendez et titrez convenablement ces photos. Imprimez enfin votre travail.