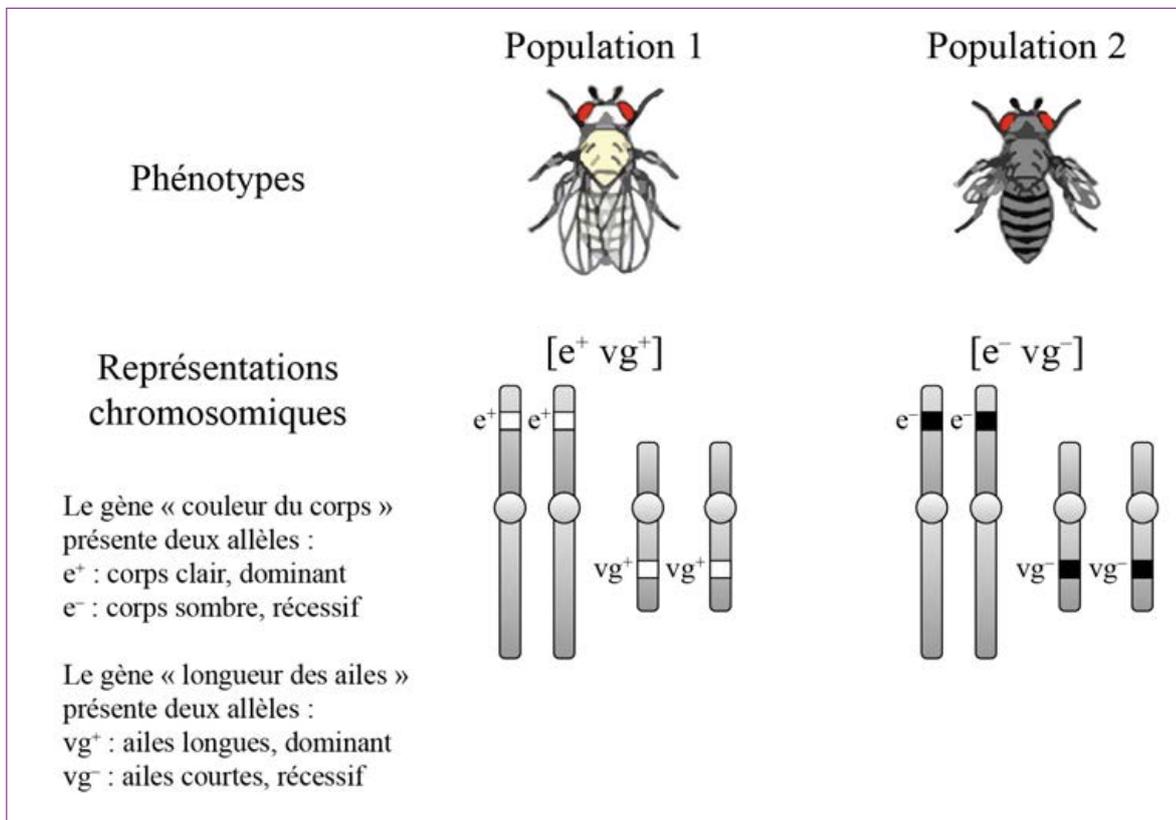


Sujet national, juin 2014, partie 1

Diversité génétique

Des généticiens étudient le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique. Ils prennent comme modèle d'étude deux populations de drosophiles constituées d'individus mâles et femelles homozygotes pour deux gènes indépendants.

Document



Des mâles de la population 1 sont placés avec des femelles de la population 2 dans le même flacon d'élevage. Leur croisement aboutit à la génération F1. Les individus issus de la première génération (F1) obtenue sont ensuite croisés avec des individus de la population 2. On obtient une deuxième génération (F2) dans laquelle les généticiens observent, pour les caractères étudiés, une diversité des combinaisons phénotypiques.

En s'appuyant sur cet exemple, proposer un texte illustré montrant par quels mécanismes la reproduction sexuée aboutit, ici, à la diversité phénotypique observée. L'exposé doit être structuré avec une introduction et une conclusion et sera accompagné de schémas.

► Comprendre la question

Le sujet de la synthèse est de montrer que la reproduction sexuée est à l'origine d'une diversité phénotypique et d'expliquer les mécanismes impliqués. Il faut présenter les brassages génétiques liés à la méiose et à la fécondation. Mais il s'agit d'un sujet original qui demande de combiner les connaissances du cours avec l'étude des croisements de drosophiles du document. Le document présente en effet deux croisements de drosophiles où sont étudiés deux gènes situés sur deux chromosomes différents. L'étude de la formation des gamètes de la génération F1 permet donc de mettre en évidence un brassage interchromosomique, à l'origine de 4 types de gamètes présentant la même fréquence de 25 % chacun. La fécondation permet la formation des 4 types d'individus de la génération F2 avec une même fréquence de 25 % chacun. Par contre, le brassage intrachromosomique n'est pas visible ici et est hors sujet.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

L'énoncé demande une synthèse structurée avec une introduction, un développement et une conclusion. Le développement comprend les connaissances sur les brassages génétiques de la méiose et de la fécondation, associées à l'exploitation du document. Le développement doit contenir le schéma présentant la formation des gamètes des individus de la génération F1 avec le détail du brassage interchromosomique, et le schéma ou l'échiquier de croisement illustrant la rencontre aléatoire des gamètes lors de la fécondation à l'origine des individus de la génération F2.

2^e étape : élaborer un plan détaillé de la synthèse au brouillon

Le tableau suivant présente un exemple de plan détaillé élaboré au brouillon.

Structure de la synthèse	Éléments issus des connaissances	Exploitation de l'étude génétique présentée dans le document
Introduction : Quels sont les mécanismes génétiques de la reproduction sexuée à l'origine de la diversité phénotypique ?		
I. La méiose : le brassage interchromosomique	Définition de la reproduction sexuée. Définition de la méiose. Définition du brassage interchromosomique.	Étude du premier croisement : la F1 contient des individus identiques, hétérozygotes, exprimant les allèles dominants (corps clair et ailes longues). Schéma : Étude du croisement $F1 = P1 \times P2$: établissement des génotypes et phénotypes de la F1. Étude du second croisement : formation lors de la méiose chez F1 de 4 types de gamètes différents de même fréquence. Schéma : Étude du croisement $F2 = F1 \times P2$: méiose formant les gamètes de F1.
II. La fécondation : l'union aléatoire des gamètes	Définition de la fécondation. Union aléatoire des gamètes.	Étude du second croisement : formation en F2 de 4 types d'individus différents de même fréquence. Schéma : Étude du croisement $F2 = F1 \times P2$: fécondation des gamètes de F1 et de P2
Conclusion		

3^e étape : structurer l'introduction et la conclusion au brouillon

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Introduction

La drosophile est un organisme modèle pour l'étude des mécanismes génétiques liés à la reproduction sexuée. Au laboratoire, on dispose de deux populations de drosophiles différant par deux caractères étudiés. On effectue deux croisements successifs à partir de ces deux populations et une diversité de combinaisons phénotypiques est obtenue à l'issue du second croisement. Quelle est la diversité phénotypique des individus provenant du second croisement ? Quels sont les mécanismes génétiques de la reproduction sexuée à l'origine de cette diversité phénotypique ? Nous présenterons dans un premier temps les mécanismes génétiques de la méiose, puis dans un second temps les mécanismes génétiques de la fécondation. Tout au long de cette étude, nous détaillerons les croisements de drosophiles proposés.

I. La méiose : le brassage interchromosomique

La reproduction sexuée comprend deux grands événements : la méiose, qui permet la formation des gamètes haploïdes (à n chromosomes), et la fécondation, qui correspond à l'union des gamètes et permet donc la formation d'un zygote diploïde (à $2n$ chromosomes).

Dans le premier croisement de drosophile étudié, des mâles homozygotes P1 à corps clairs et à ailes longues de la population 1 sont croisés avec des femelles homozygotes P2 à corps sombres et à ailes courtes de la population 2.

Étude du croisement F1 = P1 × P2 : établissement des génotypes et phénotypes de la F1

F1 =	P1	×	P2
Phénotype	$[e^+ vg^+]$		$[e^- vg^-]$
Génotype	$\left(\begin{array}{c} \underline{e^+} \quad \underline{vg^+} \\ \underline{e^+} \quad \underline{vg^+} \end{array} \right)$		$\left(\begin{array}{c} \underline{e^-} \quad \underline{vg^-} \\ \underline{e^-} \quad \underline{vg^-} \end{array} \right)$
Gamètes	100 % de gamètes avec les allèles e^+ et vg^+		100 % de gamètes avec les allèles e^- et vg^-
F1 :	100 %		$\left(\begin{array}{c} \underline{e^+} \quad \underline{vg^+} \\ \underline{e^-} \quad \underline{vg^-} \end{array} \right)$

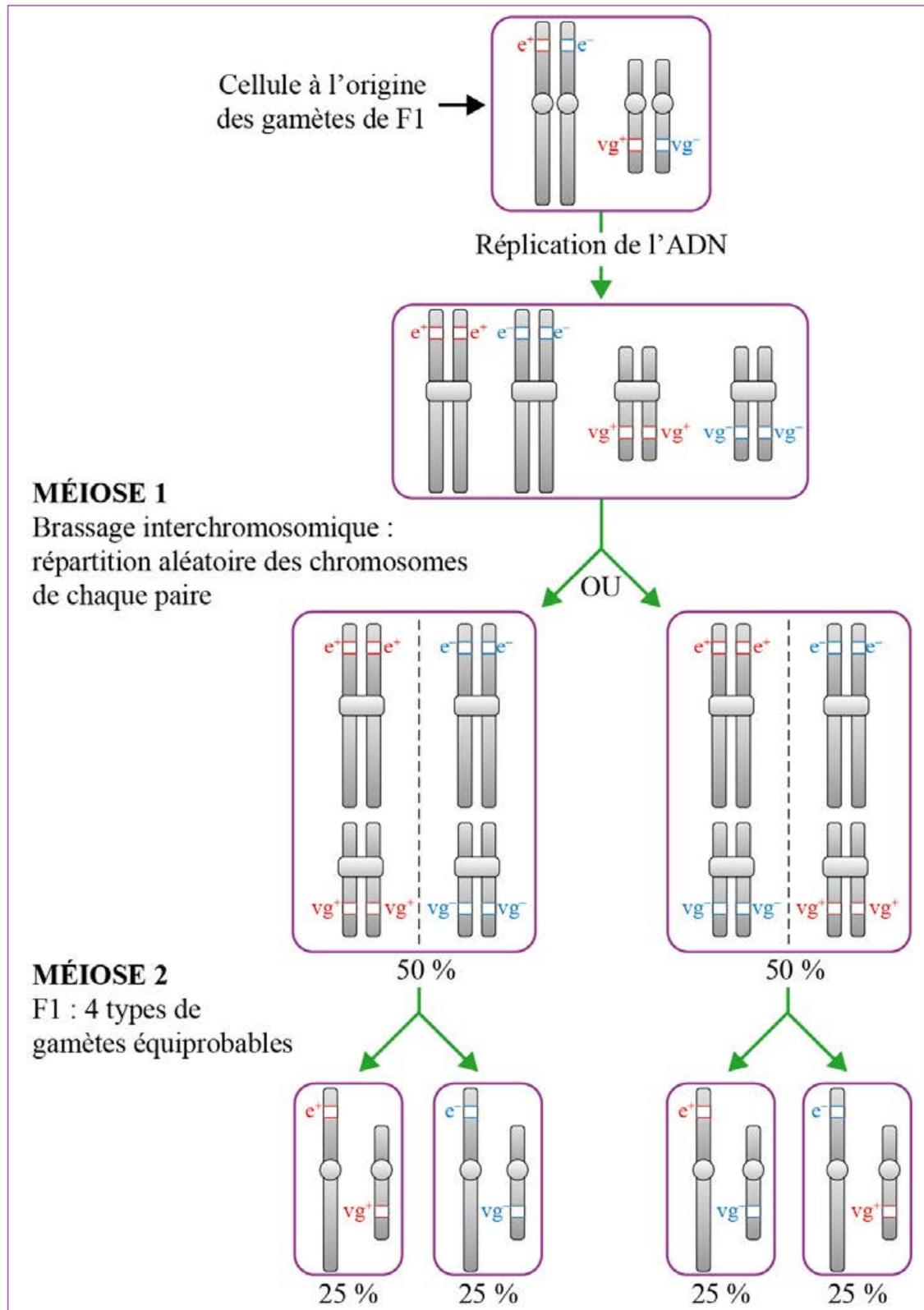
Or on sait que les allèles e^+ et vg^+ sont respectivement dominants sur les allèles e^- et vg^- . Ainsi d'après leur génotype, tous les individus de la F1 sont hétérozygotes et expriment les phénotypes dominants pour les caractères étudiés. Le phénotype des individus de la F1 est donc $[e^+ vg^+]$: ils ont tous un corps clair et des ailes longues. Quels sont les gamètes formés par les individus de la F1 ?

La formation des gamètes s'effectue lors de la méiose, qui comprend deux divisions cellulaires successives, la première division puis la seconde division de méiose. La première division de méiose se caractérise par la séparation de chromosomes homologues. En métaphase de première division de méiose, la disposition des chromosomes de chaque paire de part et d'autre du plan

équatorial est aléatoire. Ainsi, au cours de la formation de gamètes de F1, lors de la première division de méiose, il existe 2 possibilités équiprobables (50 % de fréquence chacune) de répartition des chromosomes comme le représente le schéma suivant. Puis, en anaphase de première division de méiose, la migration des chromosomes de chaque paire dans les futures cellules filles s'effectue en fonction de la répartition aléatoire précédente des chromosomes : il s'agit du brassage interchromosomique. Lors de l'anaphase de la première division de méiose chez F1, le brassage interchromosomique conduit donc à la présence de quatre types de cellules haploïdes équiprobables.

La seconde division de méiose se caractérise par la séparation des chromatides de chaque chromosome. L'individu F1 forme donc 4 types de gamètes, contenant soit les allèles (e^+ , vg^+), soit (e^- , vg^-), soit (e^+ , vg^-) ou soit (e^- , vg^+). Ces 4 types de gamètes sont équiprobables, avec une probabilité de fréquence de 25 % chacun.

Étude du croisement $F_2 = F_1 \times P_2$: méiose formant les gamètes de F_1



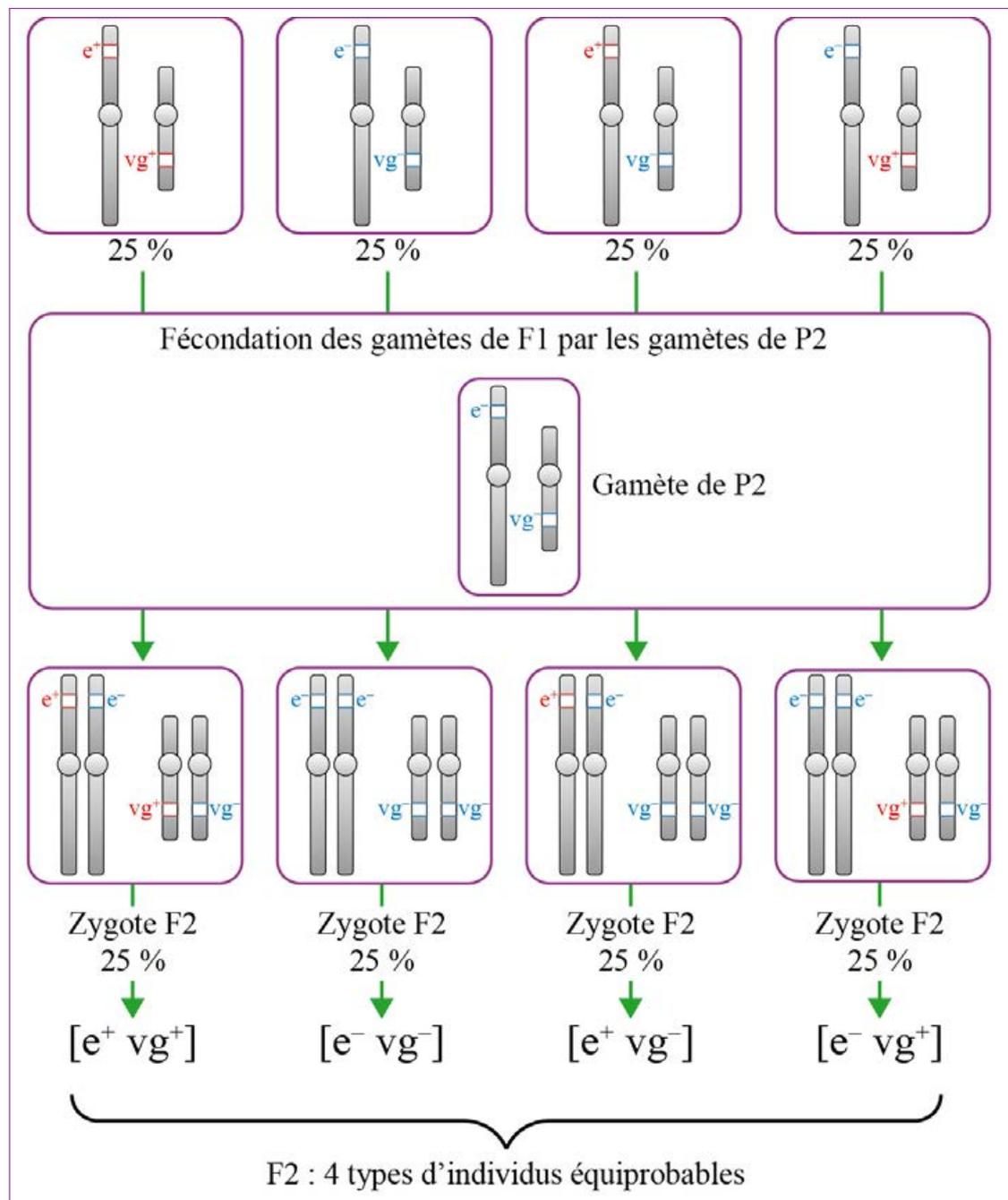
II. La fécondation : union aléatoire des gamètes

La fécondation est l'union de 2 gamètes haploïdes pour former une cellule œuf ou zygote diploïde. Dans l'étude menée ici, nous avons établi que les individus de la F1 forment 4 types de gamètes avec la même fréquence. Les combinaisons alléliques sont soit (e^+ , vg^+), soit (e^- , vg^-), soit (e^+ , vg^-) ou soit (e^- , vg^+). L'individu P2 est un individu double récessif pour les 2 caractères étudiés et ne forme qu'un seul type de gamètes, dont la combinaison allélique est (e^- , vg^-). La fécondation se caractérise par la fusion des noyaux haploïdes des 2 gamètes de F1 et de P2, appelée caryogamie. La rencontre des gamètes lors de la fécondation est aléatoire. Chacun des 4 types de gamètes de F1 présente donc la même probabilité d'être fécondé par un gamète de P2. Comme le représente le schéma suivant, cette fécondation aboutit à la formation de 4 types d'individus diploïdes ayant comme phénotype soit [e^+ , vg^+], soit [e^- , vg^-], soit [e^+ , vg^-], ou soit [e^- , vg^+]. Ainsi, la génération F2 est constituée d'individus présentant 4 phénotypes différents :

- phénotype de type parental, c'est-à-dire soit ceux des parents P1 (corps clairs et ailes longues), soit ceux des parents P2 (corps sombres et ailes courtes) ;
- phénotype de type non parental, appelé également phénotype recombiné, c'est-à-dire présentant des combinaisons de caractères absentes chez les parents P1 et P2 . Les phénotypes recombinés sont les phénotypes corps clairs et ailes courtes, ainsi que les phénotypes corps sombres et ailes longues.

Ces 4 phénotypes des individus F2 présentent la même fréquence de 25 %.

Étude du croisement F2 = F1 × P2 : fécondation des gamètes de F1 et de P2



La génération F2, résultant de 2 croisements successifs ($P1 \times P2 = F1$ puis $F2 = F1 \times P2$), se caractérise donc par une diversité phénotypique plus élevée que celles des populations parentales initiales. Le brassage interchromosomique de la méiose, associée à la rencontre aléatoire des gamètes lors de la fécondation, est à l'origine de cette diversité génétique accrue, responsable de l'augmentation de la diversité phénotypique observée.

Conclusion

Ainsi, la reproduction sexuée comprend la méiose, permettant la formation des gamètes haploïdes, et la fécondation, qui, en réunissant deux gamètes haploïdes, rétablit la diploïdie. L'étude des croisements de drosophiles permet de mettre en évidence que la première division de méiose se caractérise par l'existence d'un brassage interchromosomique, qui, associé à la fécondation, est à l'origine d'une augmentation de la diversité phénotypique de la population. Lors de la prophase de première division de méiose, il existe un autre brassage génétique non mis en évidence ici : le brassage intrachromosomique. Le brassage intrachromosomique se caractérise par un échange réciproque de fragments de chromatides entre deux chromosomes homologues et il contribue également à la diversité phénotypique liée à la reproduction sexuée. Ainsi, en tenant compte de l'ensemble des caractères d'une espèce, chaque individu issu de la reproduction sexuée est unique.

Émirats arabes unis, avril 2014, partie 1

Diversification génétique et diversification des êtres vivants

L'association des mutations et du brassage génétique au cours de la méiose et de la fécondation ne suffit pas à expliquer la totalité de la diversification des êtres vivants. D'autres mécanismes interviennent.

Décrire les mécanismes qui, en dehors de la méiose et la fécondation, sont à l'origine d'une diversification des êtres vivants.

Montrer ensuite comment un de ces mécanismes permet d'expliquer des différences entre deux espèces proches génétiquement : l'Homme et le chimpanzé.

L'exposé doit être structuré avec une introduction, un développement et une conclusion. Sont exclus de votre sujet les brassages génétiques intervenant au cours de la méiose et les mécanismes conduisant à des anomalies au cours de la méiose.

► Comprendre la question

Il s'agit d'une synthèse qui demande d'exposer les mécanismes de diversification du vivant, puis de montrer qu'un de ces mécanismes peut expliquer les différences observées entre l'Homme et le chimpanzé, deux espèces dont les génomes sont proches. Cette synthèse requiert une bonne des connaissances du cours. Attention à bien délimiter le sujet : il faut présenter tous les mécanismes de diversification du vivant (avec ou sans modification du génome) à l'exception des mutations dans les parties codantes des gènes, des brassages génétiques de la reproduction sexuée et des anomalies de la méiose (duplication de gènes lors de crossing-over inégaux). Les phénomènes évolutifs (sélection naturelle, dérive génétique, spéciation...) sont aussi hors sujet. Pour expliquer les différences entre l'Homme et le chimpanzé, deux mécanismes peuvent être développés au choix : soit les différences dans l'expression des gènes de développement, comme le présente le corrigé suivant, soit l'acquisition de nouveaux comportements lors d'apprentissage par imitation.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue doit être structurée avec une introduction, un développement et une conclusion. Aucun schéma n'est exigé par l'énoncé mais il est possible d'ajouter un schéma synthétisant les différents mécanismes de diversification du vivant.

2^e étape : élaborer un plan détaillé de la synthèse au brouillon

Le tableau suivant présente un exemple de plan détaillé construit au brouillon.

Structure de la synthèse	Éléments issus des connaissances
Introduction : Quels sont les mécanismes responsables de la diversification des êtres vivants, en dehors de ceux liés à la reproduction sexuée ? Parmi ceux-ci, quel mécanisme peut expliquer les différences entre deux espèces génétiquement proches comme l'Homme et le chimpanzé ?	
I. Des mécanismes de diversification du vivant avec modification du génome	Hybridations suivies de polyploïdisation. Transfert horizontal de gène ou transgénése. Modifications de l'expression des gènes de développement : mutations dans les séquences régulatrices.
II. Des mécanismes de diversification du vivant sans modification du génome	Symbiose. Apprentissage par imitation.
III. Un exemple de diversification du vivant : Homme et chimpanzé	Homme et chimpanzé : une grande proximité génétique mais des différences phénotypiques importantes. Un mécanisme à l'origine des différences entre l'Homme et le chimpanzé : la modification de la chronologie de l'expression de certains gènes de développement (exemple du contrôle de la multiplication neuronale au début du développement embryonnaire).
Conclusion	

3^e étape : structurer l'introduction et la conclusion au brouillon

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Introduction

Le vivant se caractérise par une très grande diversité, que l'on peut observer au niveau des espèces et des individus d'une même espèce. Les mutations génétiques et les brassages génétiques liés à la reproduction sexuée sont à l'origine d'une partie de la biodiversité observée. Quels sont les autres mécanismes responsables de la diversification des êtres vivants ? Parmi ceux-ci, quel mécanisme peut expliquer les différences existantes entre deux espèces génétiquement proches comme l'Homme et le chimpanzé ? Dans un premier temps, nous exposerons les mécanismes de diversification du vivant qui s'accompagnent d'une modification du génome, et, dans un second temps, nous présenterons les mécanismes de diversification du vivant sans modification du génome. Enfin, dans une troisième partie, nous montrerons que bien que l'Homme et le chimpanzé possèdent des génomes proches, la modification de l'expression de certains gènes peut expliquer au moins une partie des différences phénotypiques constatées entre ces deux espèces.

I. Des mécanismes de diversification du vivant avec modification du génome

Plusieurs mécanismes modifiant le génome des êtres vivants sont à l'origine d'une diversification du vivant.

1. Les hybridations suivies de polyploïdisation

Des individus d'espèces différentes peuvent parfois se reproduire entre eux formant ainsi un hybride interspécifique, généralement stérile. Mais un doublement du nombre de chromosomes, appelé polyploïdisation, peut survenir au cours de la méiose chez certains hybrides, permettant la formation de gamètes : les hybrides devenus fertiles peuvent donner naissance à une nouvelle espèce. Les hybridations suivies de polyploïdisation sont observées plus fréquemment chez les Végétaux.

2. Le transfert horizontal de gène ou transgénése

Le génome de nombreuses espèces s'est enrichi de gènes nouveaux provenant d'autres espèces. Ces nouveaux gènes permettent l'acquisition de nouveaux caractères. Par exemple, l'acquisition du placenta chez les Mammifères est le résultat d'un transfert horizontal de gènes d'origine virale. Le transfert horizontal de gènes est un événement rare mais qui peut revêtir une grande importance évolutive.

3. Modifications de l'expression des gènes de développement

Des changements dans l'expression de gènes de développement peuvent être à l'origine de changements phénotypiques importants, voire entraîner l'apparition de nouveaux caractères. L'expression des gènes de développement peut être modifiée au niveau de leur localisation, de leur intensité ou encore de leur chronologie par rapport au développement de l'organisme. Ces modifications de l'expression de ces gènes sont la conséquence de mutations au niveau des séquences régulatrices non codantes, notamment de la séquence promoteur de ces gènes.

II. Des mécanismes de diversification du vivant sans modification du génome

1. Les symbioses

La symbiose est l'association étroite entre deux êtres vivants appartenant à des espèces différentes et qui est renouvelée à chaque génération. Chacun des deux individus en retire un bénéfice. Par exemple, de nombreuses plantes vivent en symbiose avec des champignons, les mycorhizes, situés au niveau de leurs racines. La mycorhize, grâce à son mycélium étendu, fournit la plante en eau et en ions minéraux tandis que la plante, qui réalise la photosynthèse, alimente le champignon non chlorophyllien en glucides. Ainsi, la symbiose modifie les caractères de chacun des symbiotes sans qu'il y ait de modification des génomes.

2. Apprentissage par imitation

Chez les Vertébrés, certains comportements peuvent se transmettre de génération en génération au sein d'une population de manière non génétique mais par apprentissage par imitation. Les différentes populations d'une même espèce peuvent alors acquérir des comportements spécifiques, ce qui contribue à la diversification du vivant sans modification des génomes. Par exemple, chez de nombreuses espèces d'oiseaux, les individus de chaque population acquièrent le chant spécifique de leur population en l'apprenant par imitation auprès des autres individus de la même population.

III. Un exemple de diversification du vivant : Homme et chimpanzé

D'un point de vue génétique, l'Homme et le chimpanzé sont très proches (98,5 % de similitude entre leurs deux génomes). Leurs caryotypes diffèrent peu, seulement par quelques remaniements chromosomiques et la fusion chez l'Homme de deux chromosomes disjoints chez le chimpanzé. Pourtant, les phénotypes de l'Homme et du chimpanzé présentent des différences importantes. Contrairement au chimpanzé, l'Homme se caractérise par :

- un volume cérébral important autour de 1 400 cm³ (contre 400 cm³ chez le chimpanzé) ;
- une face réduite et plate (allongée en museau chez le chimpanzé) ;
- des caractéristiques liées à la bipédie permanente avec une aptitude à la course à pied chez l'Homme alors que le chimpanzé ne pratique la bipédie qu'occasionnellement et sur de courtes distances ;
- un dimorphisme sexuel (différences morphologiques entre mâle et femelle) peu marqué sur le squelette, contrairement au chimpanzé.

Le phénotype humain, comme celui du chimpanzé, s'acquiert au cours du développement prénatal et postnatal, sous l'effet de l'interaction entre l'information génétique et l'environnement. Comment peut-on expliquer les différences phénotypiques observées entre l'Homme et le chimpanzé malgré la proximité génétique de ces deux espèces ?

Des études montrent que l'Homme et le chimpanzé se distinguent en particulier par des différences dans la chronologie d'expression de certains gènes de développement. Par exemple, la morphologie crânienne est contrôlée par certains gènes de développement. Au tout début du développement embryonnaire, la durée d'expression de gènes permettant la multiplication des neurones est allon-

gée chez l'Homme : elle est de huit semaines, au lieu de deux semaines chez le chimpanzé. L'allongement de la durée de l'expression de gènes responsables de la multiplication neuronale entraîne donc l'augmentation du nombre de neurones chez l'Homme, ce qui le distingue du chimpanzé.

Conclusion

Ainsi, la diversification du vivant s'effectue par plusieurs mécanismes avec modification des génomes (hybridations suivies de polyploïdisation, transferts horizontaux de gènes, variations d'expression de gènes de développement) ou sans modification du génome (symbiose, apprentissage par imitation). L'Homme et le chimpanzé sont deux espèces proches génétiquement mais présentant des différences phénotypiques marquées. Certaines de ces différences peuvent s'expliquer par les variations d'expression de gènes de développement, comme la variation de la durée d'expression de gènes contrôlant la multiplication neuronale au début du développement embryonnaire. D'autres mécanismes de diversification du vivant contribuent à expliquer les différences entre l'Homme et le chimpanzé, comme la très forte importance de la transmission culturelle chez l'Homme. Par exemple, le langage articulé et muni d'une grammaire, spécifique à l'Homme, s'apprend par imitation chez le jeune enfant lors de ses nombreuses interactions avec son entourage.

Sujet 3

Centres étrangers, juin 2013, partie 1

La coopération entre les animaux et les plantes à fleurs dans la reproduction sexuée des plantes à fleurs

L'organisation fonctionnelle des plantes (Angiospermes) résulte d'une histoire évolutive qui sélectionne un certain nombre de caractéristiques répondant aux exigences d'une vie fixée à l'interface entre deux milieux, l'air et le sol.

Questionnaire à choix multiples

Cochez la réponse exacte pour chacune des questions.

Question 1

La plante fixée :

- ne possède aucun moyen de défense contre les variations climatiques.
- ne peut jamais se défendre contre les prédateurs.
- peut se reproduire avec une autre plante de la même espèce.
- peut disperser sa descendance sous forme de pollen.

Question 2

La racine :

- contient uniquement des vaisseaux du xylème.
- ne contient pas de sève élaborée.
- permet l'absorption de matière organique à partir du sol.
- permet l'absorption d'eau et d'ions à partir du sol.

Question 3

La fleur :

- a une organisation contrôlée par des gènes de développement.
- produit du pollen au niveau du pistil.
- attire toujours des insectes pollinisateurs.
- se transforme en graine après fécondation.

Question de synthèse

Les plantes ont une vie fixée, ce qui peut constituer un obstacle au moment de la reproduction sexuée.

Montrez en quoi une coopération avec des animaux permet la reproduction sexuée de certaines plantes à fleurs.

Votre exposé sera structuré et l'expression écrite soignée.

► Comprendre la question

Le sujet présente deux parties distinctes : d'abord un QCM de connaissance sur les plantes puis une synthèse présentant la coopération entre les animaux et les plantes à fleurs dans la reproduction sexuée de ces plantes. L'idée essentielle est de montrer que la vie fixée des plantes représente un obstacle au déplacement du pollen et des graines : la reproduction des plantes à fleurs est donc souvent réalisée grâce à l'intervention d'animaux, qui effectuent la pollinisation et la dissémination des graines. L'énoncé n'apporte aucune indication concernant le plan de la synthèse, mais il est logique de traiter d'abord la coopération des plantes et des animaux lors de la pollinisation puis lors de la dissémination des fruits et des graines. L'exercice, proche du cours, ne présente pas de difficultés particulières. Il est pertinent d'ajouter quelques exemples pour illustrer les notions abordées.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue est une synthèse comprenant une introduction, un développement structuré et une conclusion. Aucun schéma n'est exigé par l'énoncé, mais la présence d'un schéma-bilan est conseillée.

2^e étape : élaborer un plan détaillé de la synthèse au brouillon

Le tableau ci-après présente un exemple de plan détaillé construit au brouillon.

3^e étape : structurer l'introduction et la conclusion au brouillon

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Sujet 3 | Énoncé

Structure de la synthèse	Éléments issus des connaissances	Exemples
Introduction : Comment la coopération entre les plantes à fleurs et les animaux permet-elle la reproduction sexuée de ces plantes à fleurs ?		
I. La coopération entre les plantes et les animaux dans la pollinisation	<p>La fleur, organe reproducteur de la plante : 1. les étamines contenant les grains de pollen : organe reproducteur mâle ; 2. le pistil renfermant les ovules : organe reproducteur femelle.</p> <p>La vie fixée des plantes et la reproduction croisée impose un transport du pollen.</p> <p>Agent pollinisateur : les animaux (en particulier les insectes).</p> <p>Coopération entre l'animal pollinisateur et la plante : pollinisation souvent spécifique, résultat d'une coévolution.</p>	Pollinisation par les abeilles, pollinisation très spécifique entre une orchidée d'Afrique du Sud et une espèce de mouche.
II. La coopération entre les plantes et les animaux dans la dissémination des graines	<p>Après fécondation, les ovules fécondés se transforment en graines tandis que la fleur se transforme en fruit.</p> <p>La vie fixée des plantes impose le transport des graines ou des fruits pour disséminer les graines et coloniser ainsi de nouveaux milieux.</p> <p>Coopération entre l'animal disséminateur et la plante, résultat d'une coévolution.</p>	Consommation de fruits charnus par les primates en forêt tropicale.
Schéma-bilan : Coopération entre les plantes et les animaux dans la reproduction sexuée des plantes à fleurs.		
Conclusion		

Questionnaire à choix multiples

Question 1

La plante fixée : peut se reproduire avec une autre plante de la même espèce.

Lors de la fécondation croisée, deux plantes de la même espèce se reproduisent entre elles.

Question 2

La racine : permet l'absorption d'eau et d'ions à partir du sol.

La racine est l'organe responsable de l'absorption de l'eau et des ions présents dans le sol qui forment alors la sève brute, conduite par les vaisseaux du xylème. La racine possède également des vaisseaux du phloème qui lui apportent de la sève élaborée.

Question 3

La fleur : produit du pollen au niveau du pistil.

Le pollen est produit par les étamines. D'autres agents de pollinisation existent : des animaux qui ne sont pas des insectes, le vent et l'eau. Les ovules fécondés se transforment en graines tandis que la fleur se transforme en fruit.

Question de synthèse

Introduction

La majorité des animaux sont capables de se déplacer dans leur milieu à la recherche de leur partenaire sexuel pour se reproduire. Mais les plantes caractérisées par un mode de vie fixé sont incapables de se mouvoir dans leur milieu. Certaines plantes utilisent alors des animaux pour la réalisation de leur reproduction. Comment la coopération avec des animaux permet-elle la reproduction sexuée de certaines plantes à fleurs ? Nous présenterons d'abord comment les animaux interviennent dans la pollinisation des plantes puis de quelle manière ils participent à la dissémination des graines.

I. La coopération entre les plantes et les animaux dans la pollinisation

La plante immobile dans son milieu est incapable de se déplacer pour rencontrer un partenaire en vue de sa reproduction sexuée. Or, la majorité des plantes à fleurs pratiquent des fécondations croisées, c'est-à-dire que la fécondation a lieu entre un gamète mâle et un gamète femelle issus de deux plantes différentes de la même espèce. Ainsi, la fécondation croisée et la vie fixée des plantes imposent un transport du pollen de l'étamine d'une première fleur sur l'extrémité du pistil d'une seconde fleur. Cette pollinisation s'effectue souvent par des agents pollinisateurs comme

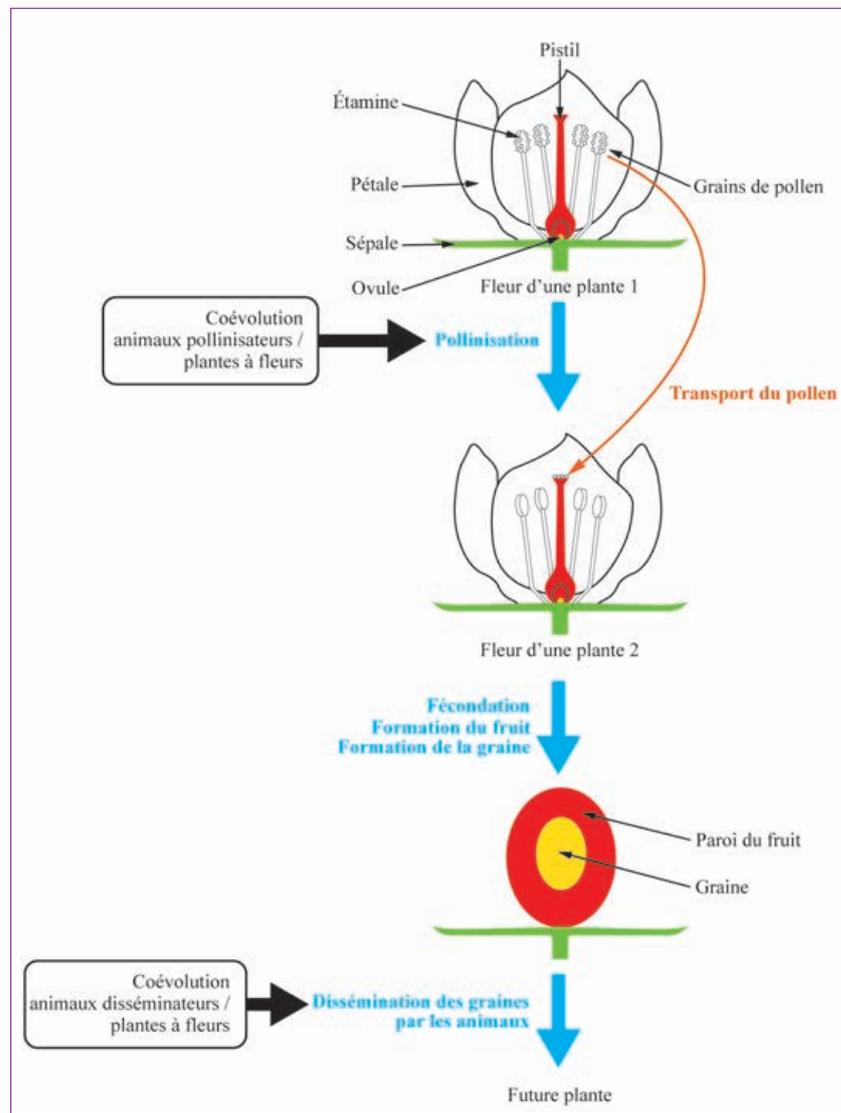
les animaux. Par exemple, les insectes tels que les abeilles participent à la pollinisation de nombreuses plantes. Les animaux pollinisateurs et la fleur qu'ils pollinisent sont souvent étroitement spécifiques l'un de l'autre. En Afrique du Sud, une espèce particulière d'Orchidée ne peut être pollinisée que par une seule espèce de mouche dont la longueur de l'organe de succion correspond exactement à la longueur du pétale contenant le nectar. Certaines plantes à fleurs et certains animaux ont ainsi développé conjointement des adaptations favorisant leur coopération. Par exemple, les fleurs pollinisées par les insectes émettent des signaux (couleur, odeur...) attirant les insectes pollinisateurs, qui trouvent dans la fleur des aliments (nectar et pollen). L'accrochage des grains de pollen sur les animaux peut être facilité par leur ornementation. On peut citer l'exemple de la fleur de l'orchidée *Ophrys*, qui mime même un abdomen d'abeille femelle pour attirer l'abeille mâle réalisant sa pollinisation.

Ces adaptations de la plante et l'animal pollinisateur sont le résultat d'une coévolution entre ces deux espèces, c'est-à-dire une évolution coordonnée des deux espèces en relation étroite l'une avec l'autre et où chaque espèce exerce une pression de sélection sur l'autre.

II. La coopération entre les plantes et les animaux dans la dissémination des graines

Après la fécondation des ovules contenus dans le pistil par les gamètes mâles des grains de pollen, les ovules fécondés se transforment en graines tandis que la fleur se transforme en fruit. Le mode de vie fixé des plantes a comme conséquence que les graines sont responsables de la dispersion de l'espèce et de la colonisation de nouveaux milieux. La dispersion des graines peut s'effectuer par des animaux. Par exemple, en forêt tropicale africaine, des primates consomment des fruits charnus contenant les graines de plantes à fleurs. Ils transportent les graines dans leur tube digestif puis les rejettent avec leurs excréments dans le milieu. Les graines ainsi disséminées peuvent alors germer et leur germination est facilitée par leur passage dans le tube digestif des animaux. La dissémination des graines par les animaux est une coopération entre les animaux et les plantes à fleurs et résulte aussi d'une coévolution.

Coopération entre les plantes à fleurs et les animaux pour la reproduction sexuée des plantes à fleurs



Conclusion

Le mode de vie fixé des plantes a contraint la sélection lors de l'évolution des caractéristiques particulières des plantes permettant leur reproduction sexuée et la colonisation de nouveaux milieux. Des animaux participent à la reproduction sexuée des plantes à fleurs lors de la pollinisation et la dissémination des graines. La coopération entre les plantes à fleurs et les animaux est donc le résultat d'une évolution conjointe entre les plantes à fleurs et les animaux. Depuis plus d'une dizaine d'années, un déclin des populations d'insectes pollinisateurs est observé dans plusieurs pays, en particulier en Europe. Ce déclin, s'il n'est pas enrayeré, pourrait avoir de graves conséquences sur de nombreuses plantes à fleurs, y compris certaines utilisées en agriculture pour l'alimentation humaine.

Sujet national, juin 2013, partie 2, exercice 1

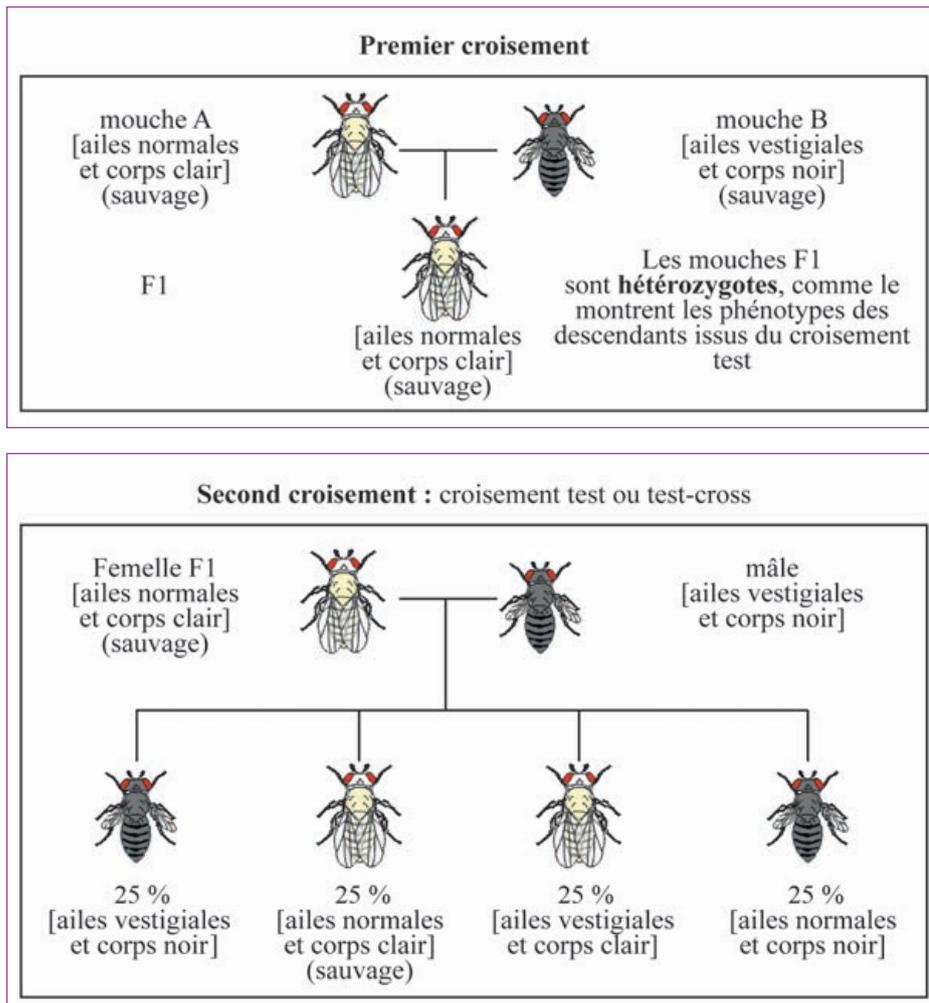
Brassages chromosomiques chez la drosophile

Au cours de la méiose, les brassages inter et intra-chromosomique produisent une diversité potentiellement infinie de gamètes. On réalise des croisements de drosophiles dont les résultats sont donnés dans le document 1.

On cherche à comprendre lequel de ces deux mécanismes (brassage inter ou intra-chromosomique) est mis en œuvre et quels sont les deux gènes impliqués.

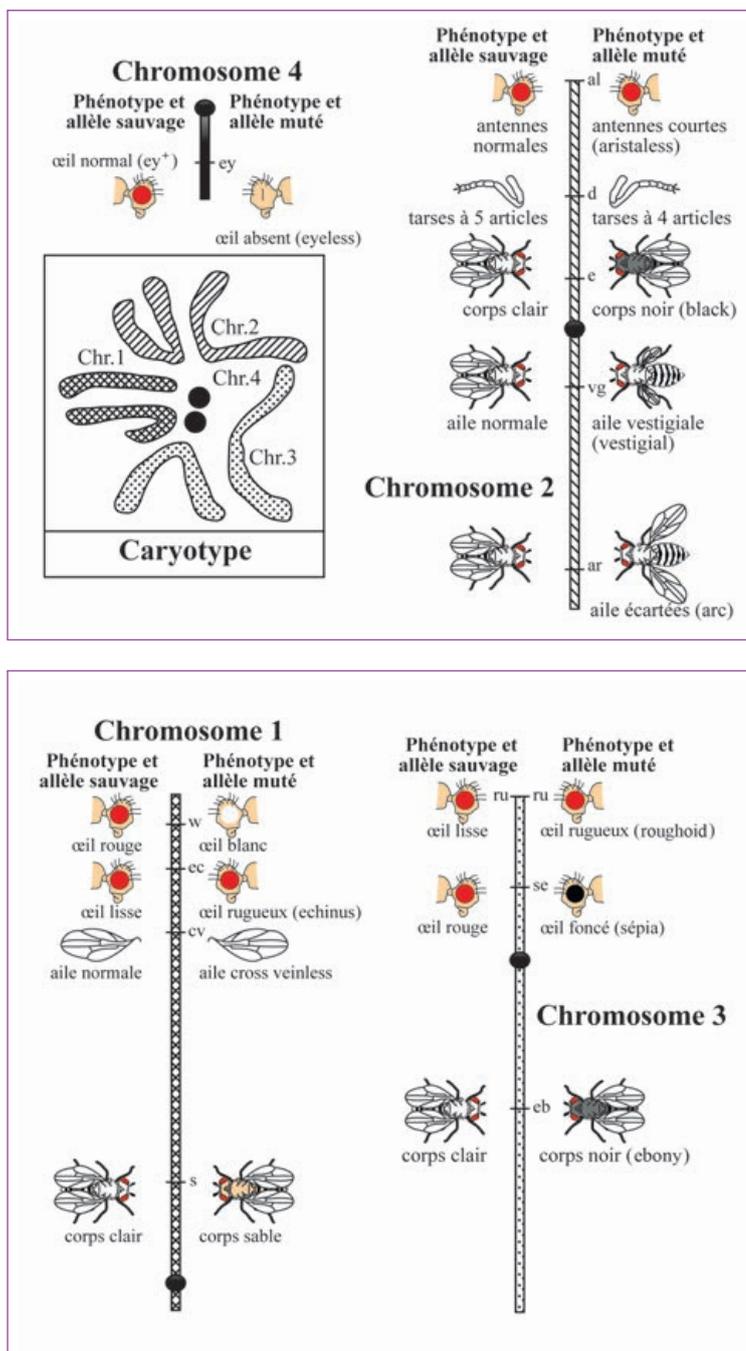
○ Document 1

Résultats de croisements de drosophiles portant sur les caractères « longueur des ailes » (ailes longues et ailes vestigiales ou réduites) et « couleur du corps » (corps clair et corps noir)



○ Document 2

Caryotype et portion de la carte génétique de la drosophile



Source : d'après E. Altenburg, repris dans *Génétique* de G. Prévost, éditions Hermann, 1976.

Modifié à l'aide du site <http://svt.ac-dijon.fr>.

Chaque gène possède un allèle dit « sauvage » à l'origine de l'expression du phénotype « sauvage » qui est le plus présent dans les populations de drosophiles.

Questionnaire à choix multiples

À partir des informations tirées des documents, cocher la bonne réponse, pour chaque série de propositions.

Question 1

- Le caryotype de la drosophile comprend 2 chromosomes à 2 chromatides.
- Le caryotype de la drosophile comprend 8 paires de chromosomes.
- Le caryotype de la drosophile comprend 3 paires de chromosomes et 2 protéines sphériques.
- Le caryotype de la drosophile comprend 4 paires de chromosomes.

Question 2

- L'allèle responsable de la couleur claire du corps est dominant par rapport à l'allèle responsable des ailes vestigiales.
- L'allèle responsable de la couleur claire du corps est dominant par rapport à l'allèle responsable du corps noir.
- L'allèle responsable des ailes vestigiales est dominant par rapport à l'allèle responsable des ailes longues.
- L'allèle responsable de la couleur noire du corps est un allèle sauvage.

Question 3

- Ces croisements illustrent les brassages intrachromosomique et interchromosomique.
- Ces croisements illustrent le brassage intrachromosomique.
- Ces croisements illustrent le brassage interchromosomique.
- Ces croisements sont responsables d'une aberration chromosomique.

Question 4

- Les gènes impliqués dans ce brassage sont liés.
- Un seul gène gouverne la couleur du corps.
- Les gènes impliqués dans ce brassage sont indépendants.
- Le gène gouvernant la couleur du corps situé sur le chromosome 2 est un des deux gènes impliqués dans le croisement.

Question 5

- Toutes les cellules du corps de la drosophile sont haploïdes.
- Les résultats du premier croisement (F1) permettent de déterminer quels sont les allèles dominants.
- On appelle test-cross l'événement responsable d'une recombinaison intra-chromosomique.
- Les drosophiles « sauvages » sont plus dangereuses que les drosophiles « mutées ».

► Comprendre la question

L'objet d'étude est une série de deux croisements chez la drosophile. Deux caractères sont étudiés : la couleur du corps et la longueur des ailes. Le premier document présente les résultats des deux croisements tandis que le second document propose le caryotype et une carte génétique partielle de la drosophile, qui précise la localisation chromosomique de plusieurs gènes. L'objectif de l'exercice est d'établir si les résultats des croisements résultent d'un brassage intrachromosomique entre des gènes situés sur un même chromosome ou d'un brassage interchromosomique entre des gènes situés sur des chromosomes différents. Aucune justification n'est attendue.

Questionnaire à choix multiples

Question 1

Le caryotype de la drosophile comprend quatre paires de chromosomes.

Le document 2 présente le caryotype de la drosophile : on observe huit chromosomes, soit quatre paires de chromosomes. Les deux chromosomes de la paire n° 4 sont de petite taille.

Question 2

L'allèle responsable de la couleur claire du corps est dominant par rapport à l'allèle responsable du corps noir.

Dans le premier croisement, la mouche A possède des ailes normales et un corps clair tandis que la mouche B possède des ailes vestigiales et un corps noir. Or, les mouches F1 résultant du croisement des mouches A avec les mouches B ont des ailes normales et un corps clair. En supposant que la couleur du corps est gouvernée par un gène possédant deux allèles (l'un conférant un corps clair, l'autre conférant un corps noir), on en déduit que l'allèle responsable du corps clair est dominant par rapport à l'allèle responsable du corps noir.

Question 3

Ces croisements illustrent le brassage interchromosomique.

Dans le second croisement ou croisement test, les femelles F1 sont croisées avec des mâles aux ailes vestigiales et au corps noir. À l'issue de ce croisement, on obtient quatre types d'individus différents ayant chacun une fréquence de 25 %. Ce résultat indique l'existence d'un brassage interchromosomique, qui a lieu en anaphase de première division de méiose. Le brassage interchromosomique se caractérise par la migration au hasard des chromosomes d'une même paire de part et d'autre du plan équatorial de la cellule.

Si le brassage avait été intrachromosomique, les individus de type parentaux (ceux à ailes normales et à corps clair et ceux à ailes vestigiales et à corps noir) auraient été beaucoup plus fréquents que les individus de type non parentaux (ceux à ailes normales et à corps noir et ceux à ailes vestigiales et à corps clair).

Question 4

Les gènes impliqués dans ce brassage sont indépendants.

Deux gènes sont responsables des phénotypes corps clair/corps noir chez la drosophile : le gène *black* sur le chromosome 2, le gène *ebony* sur le chromosome 3. La mise en évidence d'un brassage interchromosomique indique que les deux gènes étudiés, celui responsable de la couleur du corps et celui responsable de la longueur des ailes, sont localisés sur deux chromosomes différents. En effet, les deux gènes *ebony* et *vestigial* étudiés sont situés sur deux chromosomes différents et sont dits indépendants.

Si les deux gènes impliqués avaient été localisés sur le même chromosome, alors le brassage mis en évidence aurait été intrachromosomique et les individus de type parentaux auraient été beaucoup plus fréquents que les individus de type non parentaux.

Question 5

Les résultats du premier croisement (F1) permettent de déterminer quels sont les allèles dominants.

Les autres réponses ne sont pas correctes car :

- les cellules du corps de la drosophile sont diploïdes, sauf les cellules germinales, qui sont haploïdes ;
- un test-cross ou croisement test est le croisement d'un individu avec un autre individu portant les allèles récessifs pour les gènes étudiés ;
- les drosophiles, qu'elles soient sauvages ou mutées, ne sont pas particulièrement dangereuses.

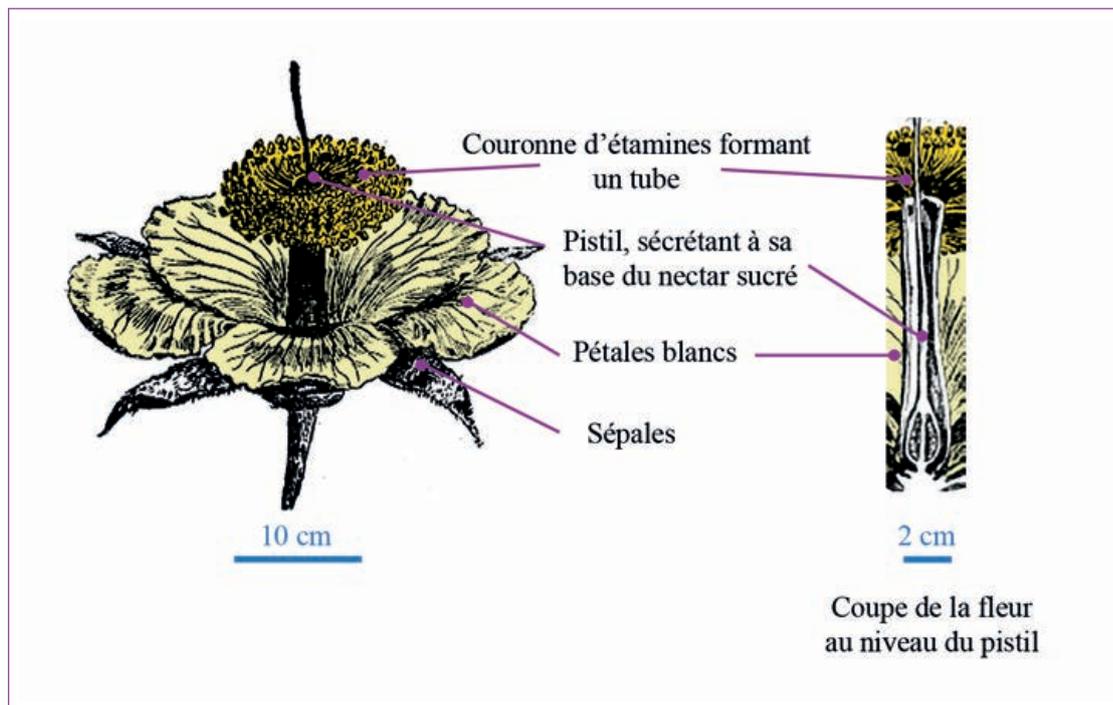
Amérique du Nord, juin 2014, partie 2, exercice 1

Pollinisation du baobab

La pollinisation du baobab repose sur la collaboration entre un animal et une plante.
On cherche à identifier le pollinisateur.

○ Document 1

Quelques caractéristiques de la fleur de baobab



Source : Modifié d'après H. Baillon, extrait de www.cosmovisions.com.

Les fleurs commencent à s'ouvrir le soir et émettent un parfum nauséabond. Le lendemain matin, on retrouve la plupart d'entre elles détruites. Pétales et sépales parsèment le sol et présentent de nombreuses lacérations. La couronne d'étamines et le pistil sont pratiquement intacts et restent fixés à la branche. Les quelques fleurs intacts ne sont pas pollinisées.

○ Document 2

Tableau de quelques caractéristiques des pollinisateurs

Animaux		Période d'activité	Déroulement de la pollinisation
Oiseau		Diurne	Les oiseaux repèrent les fleurs de couleur rouge. Lorsque leur bec plonge au fond du tube afin d'y puiser le nectar, leur tête se frotte aux étamines et le pollen adhère à leurs plumes.
Chauve-souris		Nocturne	L'animal repère les grandes fleurs, blanches et nauséabondes. Il lèche le nectar tout en se recouvrant le museau de pollen.
Insectes	Hyménoptère	Diurne	Les hyménoptères repèrent des fleurs présentant des couleurs bleue, jaune et ultraviolette. Ces insectes sont à la recherche d'un nectar sucré. Ils se recouvrent de pollen en se frottant aux étamines.
Insectes	Lépidoptère	Diurne	Ces lépidoptères repèrent des fleurs présentant des couleurs bleue, jaune et ultraviolette. Ces insectes sont à la recherche d'un nectar fluide. Ils se recouvrent de pollen en se frottant aux étamines.
Insectes	Lépidoptère	Nocturne	Ces lépidoptères sont attirés par des fleurs émettant de fortes odeurs agréables. Ces insectes sont à la recherche d'un nectar fluide. Ils se recouvrent de pollens en se frottant aux étamines.
Insectes	Diptère	Nocturne et diurne	Les diptères sont attirés par de petites fleurs colorées, émettant de fortes odeurs nauséabondes. Ces insectes sont à la recherche d'un nectar sucré. Ils se recouvrent de pollen en se frottant aux étamines.

Diurne : durant la journée ; nocturne : durant la nuit

Source : extraits modifiés de M. Nabors, 2004, et C. Dibos, 2010.

Questionnaire à choix multiples

À partir de l'étude des informations tirées des documents, cocher la bonne réponse pour chaque série de propositions.

Question 1

On peut déduire que la fleur du baobab est pollinisée par un animal qui :

- est actif la nuit et repère une fleur colorée à floraison diurne.
- est actif la nuit et repère une fleur blanche à floraison nocturne.
- est actif le jour et repère une fleur colorée à floraison diurne.
- est actif le jour et repère une fleur blanche à floraison nocturne.

Question 2

On observe que les fleurs pollinisées sont détruites. On peut donc en déduire que :

- le pollinisateur est de grande taille et attiré par une odeur agréable des fleurs.
- le pollinisateur est de petite taille et attiré par une odeur agréable des fleurs.
- le pollinisateur est de grande taille et attiré par une odeur nauséabonde des fleurs.
- le pollinisateur est de petite taille et attiré par une odeur nauséabonde des fleurs.

Question 3

Les caractéristiques de la fleur de baobab permettent de déduire que le pollinisateur est :

- un oiseau.
- un hyménoptère.
- un lépidoptère diurne.
- une chauve-souris.

► Comprendre le sujet

Il s'agit d'identifier l'animal responsable de la pollinisation de la fleur de baobab, en mettant en relation les caractéristiques de la fleur de baobab présentée dans le document 1 et celles de quelques pollinisateurs potentiels présentés dans le document 2. La confrontation des informations aboutit par un raisonnement logique ne présentant pas de difficulté à déterminer l'animal pollinisateur de la fleur de baobab. Aucune justification n'est attendue.

Questionnaire à choix multiples

Question 1

On peut déduire que la fleur du baobab est pollinisée par un animal qui : est actif la nuit et repère une fleur blanche à floraison nocturne.

D'après le document 1, les fleurs du baobab s'ouvrent la nuit et présentent des pétales blancs : la pollinisation de la fleur de baobab est donc nocturne.

Question 2

On observe que les fleurs pollinisées sont détruites. On peut donc en déduire que : le pollinisateur est de grande taille et attiré par une odeur nauséabonde des fleurs.

Sachant que les fleurs pollinisées sont détruites, on peut penser que le pollinisateur est de grande taille. De plus, le document 1 précise que les fleurs de baobab émettent un parfum nauséabond.

Question 3

Les caractéristiques de la fleur de baobab permettent de déduire que le pollinisateur est : une chauve-souris.

Le pollinisateur est un animal nocturne et de grande taille, ce qui élimine donc les insectes. Dans le document 2, il ne reste comme pollinisateur possible que la chauve-souris, animal nocturne de grande taille, repérant les grandes fleurs blanches et nauséabondes et léchant le nectar en recouvrant son museau de pollen.

Asie, juin 2013, partie 2, exercice 2

Influence de l'alimentation de la femme enceinte sur l'obésité adulte du futur enfant

L'alimentation d'une femme avant et pendant sa grossesse a-t-elle des conséquences sur le risque pour sa descendance de développer une maladie à l'âge adulte ? Les indices s'accumulent...

Plusieurs études montrent en effet que, à côté de la mauvaise alimentation, de la sédentarité et de gènes de susceptibilité transmis par les parents, l'environnement de la vie fœtale, et notamment l'alimentation maternelle pendant la grossesse, voire avant celle-ci, joue un rôle dans l'apparition du diabète de type 2 à l'âge adulte.

Source : extrait de *La Recherche*, n° 463, avril 2012.

La souris peut être considérée comme un modèle pertinent pour étudier ces phénomènes chez l'être humain.

À partir des résultats de l'étude sur l'expression du gène *agouti* chez la souris, expliquez comment l'alimentation d'une femme enceinte pourrait modifier l'expression des gènes impliqués dans l'apparition de l'obésité chez l'adulte.

Document 1

Le gène *agouti*

Le gène *agouti* intervient dans la synthèse de diverses protéines impliquées dans :

- la couleur du pelage ;
- la stimulation du système nerveux central au niveau de la zone impliquée dans la prise alimentaire ;
- le métabolisme des triglycérides (graisse).

Concernant la couleur du pelage, le gène *agouti* intervient dans le dépôt d'un pigment jaune dans les poils de la souris au cours de son développement embryonnaire.

Il existe plusieurs allèles de ce gène *agouti*, qui conduisent à des couleurs de pelage différentes, en modifiant le niveau de synthèse et le type de pigment de la fourrure.

Parmi eux, on distingue :

- l'allèle *a* (*non agouti*), qui est défectueux en raison d'une mutation qui a provoqué une perte de fonction ; les homozygotes (*a/a*) sont de couleur noire ;
- l'allèle *A^{vy}* (*agouti viable yellow*), qui a subi l'insertion d'un fragment d'ADN dans la région qui contrôle son niveau d'expression. S'il s'exprime fortement, la souris est jaune. S'il ne s'exprime pas, la souris est noire. Si son niveau d'expression varie entre ces deux états, le pelage est tacheté à différents degrés.

Ainsi, les hétérozygotes (A^{vy}/a) présentent des différences de pelage :

Yellow	Slightly mottled	Mottled	Heavily mottled	Pseudo-agouti
jaune	légèrement tacheté	tacheté	très tacheté	noir

← Taux d'expression de A^{vy} croissant

Pour ces raisons, le gène agouti a été utilisé chez la souris pour étudier l'effet du régime alimentaire sur le taux d'expression de l'allèle A^{vy} .

Document 2

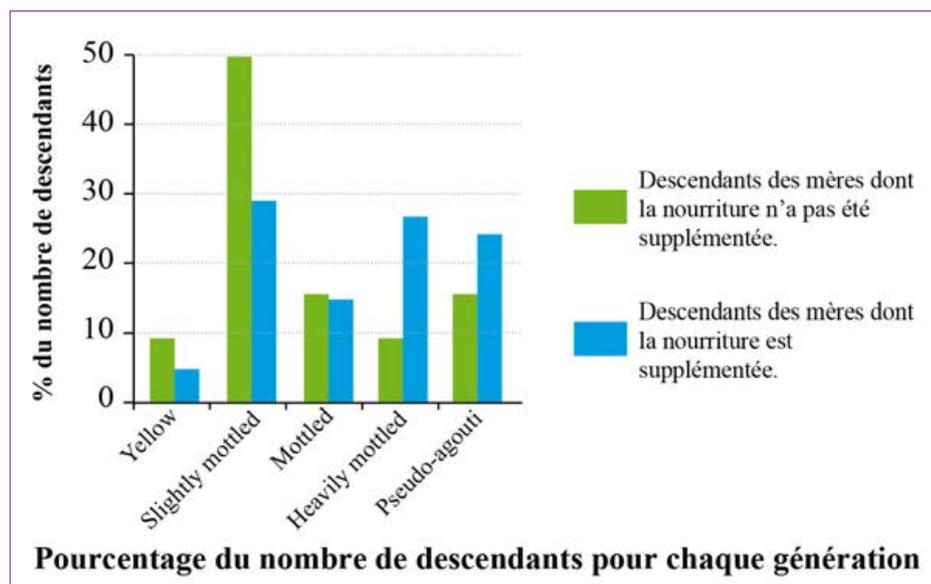
Relation entre l'alimentation et l'expression génique

2a. Effet de l'alimentation sur l'expression du gène agouti

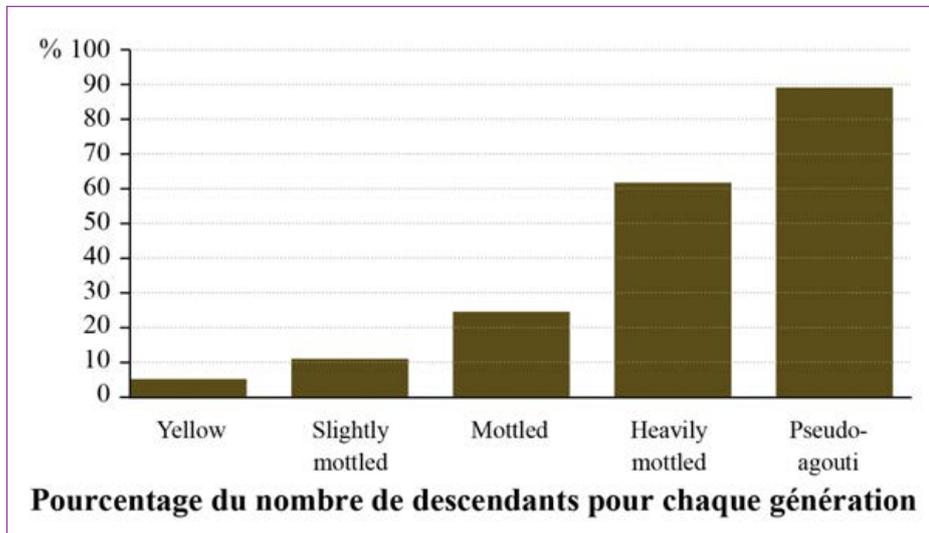
En 1998, Craig Cooney et son équipe (Arkansas, États-Unis) réalisent une expérience sur deux lots de souris gestantes :

- un lot dont la nourriture est supplémentée, c'est-à-dire qu'on y ajoute des molécules capables de donner un groupement méthyle ($-CH_3$) à d'autres molécules, comme l'ADN ;
- un lot dont la nourriture n'est pas supplémentée.

Les descendants de ces femelles sont tous de génotype (A^{vy}/a).



2b. Pourcentage moyen de méthylation dans différents tissus pour différents phénotypes

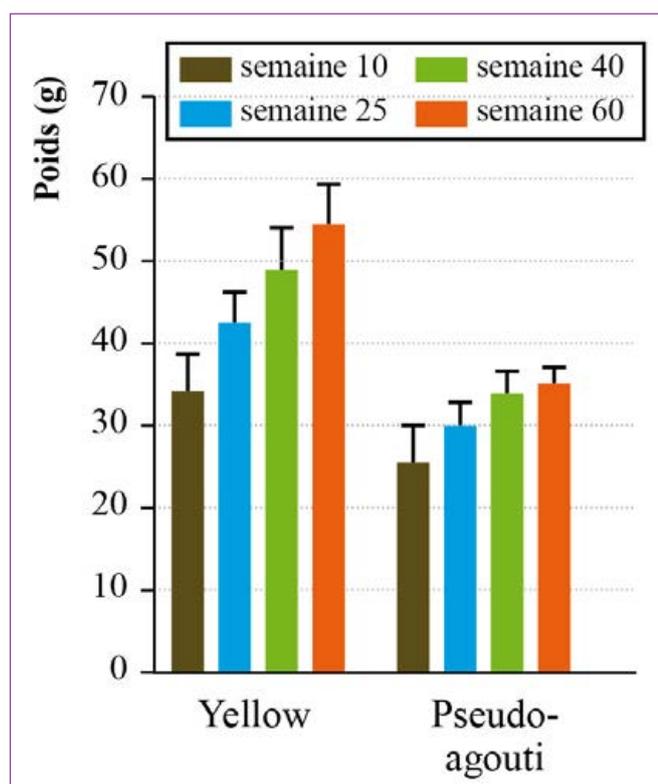


Source : d'après Robert A. Waterland and Randy L. Jirtle, *Transposable Elements : Targets for Early Nutritional Effects on Epigenetic Gene Regulation*.

Les mesures sont réalisées sur des tissus extraits de souris de même génotype ($A^{vy/a}$) âgées de 150 jours.

○ Document 3

Évolution de la prise de poids moyenne sur 60 semaines des descendants hétérozygotes ($A^{y/a}$) pour les phénotypes yellow et pseudo-agouti



► Comprendre la question

Le sujet porte sur l'influence de l'alimentation de la femme enceinte sur l'expression des gènes impliqués dans l'apparition de l'obésité adulte de son futur enfant. Il présente l'étude de l'expression d'un gène impliqué dans l'obésité chez la souris considérée comme un organisme modèle pertinent pour l'étude de ces mécanismes chez l'Homme. Il s'agit donc tout d'abord de présenter le principe et les résultats de l'étude menée chez la souris puis de proposer une extrapolation à l'espèce humaine.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau suivant présente un exemple de démarche élaborée au brouillon.

Parties du problème	Éléments issus des documents
Introduction : Comment l'alimentation de la femme enceinte pourrait-elle modifier l'expression des gènes impliqués dans l'apparition de l'obésité adulte de son futur enfant ?	
Présentation du modèle étudié	<p>Document 1. Le gène agouti chez la souris intervient dans la couleur du pelage, la prise alimentaire et le métabolisme des lipides. Chez les hétérozygotes (A^{vy}/a), la couleur du pelage reflète directement le niveau d'expression de l'allèle A^{vy} : moins l'allèle A^{vy} s'exprime, plus le pelage est foncé.</p> <p>Document 3. Corrélation entre la prise de poids des hétérozygotes (A^{vy}/a) et la couleur du pelage : plus le pelage est foncé, plus la prise de poids est faible. La couleur du pelage à la naissance est donc un indicateur de la prise future de poids.</p>
Présentation de l'expérience et de ses résultats chez la souris	<p>Documents 2a et 2b. Les descendants des femelles supplémentées en groupements méthyles sont légèrement tachetés à noirs et présentent globalement un taux moyen à fort de méthylation dans leurs tissus. Les descendants des femelles non supplémentées sont majoritairement légèrement tachetés et présentent un taux faible de méthylation dans leurs tissus.</p>
Conclusion de l'expérience et réponse à la problématique : la nourriture des souris gestantes influence l'expression des gènes impliqués dans l'obésité adulte de leurs descendants. Ce résultat peut être extrapolé avec prudence chez la femme enceinte chez laquelle il reste à être confirmé.	

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Introduction

On cherche à déterminer chez la femme enceinte l'influence de son alimentation sur le phénotype de son futur enfant, en particulier sur l'apparition d'une obésité à l'âge adulte. Comment l'alimentation de la femme enceinte pourrait-elle modifier l'expression des gènes impliqués dans l'apparition de l'obésité adulte de son futur enfant ? Pour répondre à cette problématique, nous allons présenter les résultats de l'étude de l'expression du gène *agouti* impliqué dans la prise de poids chez la souris. Nous allons plus précisément caractériser l'effet de l'alimentation de souris gestantes sur l'expression du gène *agouti* chez leurs descendants. Comme la souris est considérée comme un modèle pertinent d'étude des mécanismes chez l'Homme, nous verrons dans quelle mesure les résultats obtenus chez la souris sont extrapolables à l'espèce humaine.

Développement

Chez la souris, le gène *agouti* intervient dans la synthèse de différentes protéines impliquées dans la couleur du pelage, le contrôle de la prise alimentaire et le métabolisme des lipides (document 1). On s'intéresse à la couleur du pelage contrôlée par le gène *agouti* lors du développement embryonnaire. Le gène *agouti* présente un allèle *a*, allèle défectueux correspondant à une perte de fonction et les individus homozygotes (*a/a*) ont un pelage noir. Le gène *agouti* possède un second allèle A^{vy} , ayant subi une insertion dans la région contrôlant le niveau d'expression de ce gène. Chez des individus hétérozygotes (A^{vy}/a), la forte expression de l'allèle A^{vy} entraîne un pelage jaune tandis que son absence d'expression entraîne un pelage noir. Entre ces deux extrêmes, plus l'expression de l'allèle A^{vy} est forte, moins le pelage présentera de taches noires et plus il sera donc jaune (document 1). Ainsi, chez les hétérozygotes (A^{vy}/a), la couleur du pelage reflète directement le niveau d'expression de l'allèle A^{vy} . On dispose ainsi d'un système d'étude intéressant puisque la simple observation de la couleur du pelage des souris indique le niveau d'expression de l'allèle A^{vy} .

L'étude de l'évolution de la prise de poids moyenne sur 60 semaines de souris hétérozygotes (A^{vy}/a) montre que les souris à pelage jaune, c'est-à-dire présentant un fort taux d'expression de l'allèle A^{vy} , ont une prise de poids importante (plus de 20 g entre les semaines 10 et 60). Les souris à pelage noir, c'est-à-dire dont l'allèle A^{vy} ne s'exprime pas, montrent en comparaison une prise de poids réduite (moins de 10 g entre les semaines 10 et 60) (document 3). Or, le gène *agouti* intervient dans la couleur du pelage mais aussi dans le contrôle de la prise alimentaire et le métabolisme des lipides (document 1). On peut donc supposer que l'absence d'expression de l'allèle A^{vy} entraîne, en plus d'un pelage noir, un métabolisme responsable d'une prise de poids réduite. À l'inverse, une forte expression de l'allèle A^{vy} à l'origine d'un pelage jaune, est aussi responsable d'un métabolisme favorable au développement de l'obésité.

On peut alors tester l'influence de l'alimentation des souris gestantes sur la tendance à l'obésité de leurs descendants hétérozygotes (A^{vy}/a). Le premier lot de souris femelles gestantes reçoit une alimentation supplémentée en molécules portant des groupements méthyles ($-CH_3$). Les descendants de ces femelles sont répartis ainsi : souris à pelage jaune (5 %), légèrement tachetées (30 %), tachetées (15 %), très tachetées (25 %) et noires (25 %). Le second lot de femelles gestantes ne

reçoit pas cette supplémentation et ses descendants présentent majoritairement (50 %) un pelage faiblement tacheté (document 2a). On peut vérifier que plus la souris présente un pelage noir, plus son pourcentage moyen de méthylation de différents tissus est élevé (document 2b). Ainsi, on peut conclure que la supplémentation des femelles gestantes en molécules capables de fournir des groupements méthyles ($-CH_3$) à d'autres molécules permet une méthylation de certaines molécules comme l'ADN des tissus des embryons. Cette méthylation pourrait modifier alors le niveau d'expression de certains gènes, dont le gène *agouti*, et serait conservée chez les souris adultes. Cette méthylation, conférée par l'alimentation des femelles gestantes, a donc une influence sur le phénotype de leurs descendants, à savoir ici la couleur du pelage et la tendance à l'obésité.

Conclusion

Ainsi, l'étude menée chez la souris montre que l'alimentation des femelles gestantes influence le niveau d'expression de certains gènes lors du développement embryonnaire, entraînant des conséquences phénotypiques sur ces souris devenues adultes. Cette mise en évidence d'une influence de l'alimentation lors de la gestation chez la souris sur le phénotype des descendants peut être extrapolée à l'espèce humaine. On peut penser que l'alimentation de la femme enceinte a des conséquences sur l'expression de certains gènes impliqués dans l'apparition de l'obésité à l'âge adulte de son enfant. Il s'agit ici d'un exemple de modification de l'expression génétique transmise de la mère à l'enfant mais sans modification de la séquence de l'ADN. Mais il reste à identifier les gènes et les aliments impliqués dans cette régulation avant de préconiser des recommandations pour l'alimentation de la femme enceinte.

Amérique du Nord, juin 2014, partie 2, exercice 2

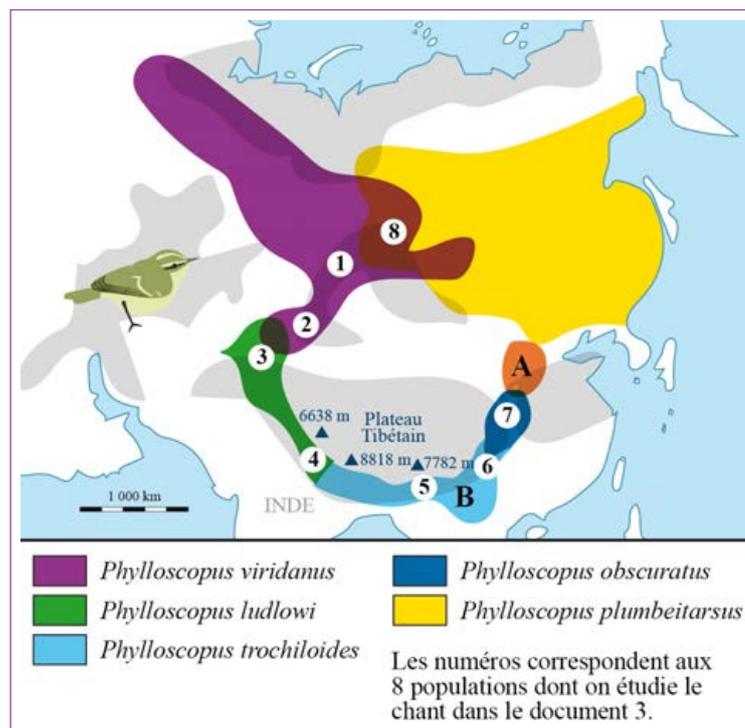
Le pouillot verdâtre

On étudie la biodiversité chez le pouillot verdâtre (petit oiseau appartenant au genre *Phylloscopus*). On distingue en Asie 8 populations d'oiseaux réparties en 5 espèces identifiables par de faibles variations morphologiques. On constate que les populations géographiquement proches sont interfécondes, sauf les populations appartenant aux deux espèces *Phylloscopus viridanus* et *Phylloscopus plumbeitarsus*.

À partir des documents et de l'utilisation des connaissances, décrire les mécanismes permettant de comprendre pourquoi ces deux espèces géographiquement proches ne peuvent pas se reproduire entre elles.

○ Document 1

1a. Répartition des populations appartenant aux 5 espèces actuelles de pouillot verdâtre autour du plateau Tibétain



Source : d'après www.zoology.ubc.ca.

Ib. Répartition d'anciennes populations de pouillot verdâtre autour du plateau Tibétain

Sur la carte du document 1a., la zone **A** représente l'aire de répartition d'une population de pouillots qui a aujourd'hui disparu, à la suite de la déforestation.

La zone **B** représente l'aire de répartition de la population initiale des pouillots, à partir de laquelle des migrations ont eu lieu.

○ Document 2

Méthode d'étude des chants des pouillots

La biodiversité des pouillots verdâtres est caractérisée par de faibles variations morphologiques, mais aussi par des variations du chant. On appelle « sonogrammes » les enregistrements du chant des oiseaux.

Les chants des mâles sont constitués de séquences sonores qui se répètent. Afin de rendre l'exploitation de ces enregistrements plus pratique, les séquences sonores identiques ont été remplacées par des lettres de l'alphabet. Plus les lettres sont proches alphabétiquement plus les échantillons sonores sont proches. Les oiseaux peuvent communiquer entre eux si les sonogrammes sont proches.

Conversion d'un sonogramme en lettres alphabétiques

Séquence sonore	Lettre correspondant
	L
	M
Exemple de sonogramme et sa conversion	
	
† L † † L † † L † † M † † M † † M †	

Document 3

Sonogrammes des 8 populations des 5 espèces étudiées de pouillots verdâtres

On a enregistré les chants de pouillots verdâtres mâles de 8 populations localisées dans différents lieux autour du plateau tibétain (voir carte document 1a.).

Chaque population a un chant caractéristique formé par l'association de 1 à 3 séquences sonores différentes.

Le pouillot verdâtre mâle utilise son chant pour défendre son territoire et attirer la femelle. L'étude du comportement sexuel montre que, pour s'accoupler, les oiseaux se reconnaissent par leur chant.

Espèces	Localisation des enregistrements	Représentations simplifiées des sonogrammes
<i>Phylloscopus viridanus</i>	1	—A— —B— —C—
	2	—D— —D— —D— —E— —E—
<i>Phylloscopus ludlowi</i>	3	—F— —F— —F— —G— —G—
	4	—H— —H— —H— —H— —H—
<i>Phylloscopus trochiloides</i>	5	—I— —I— —I— —I—
	6	—J— —J— —J— —J— —K— —K—
<i>Phylloscopus obscuratus</i>	7	—L— —L— —L— —M— —M— —M—
<i>Phylloscopus plumbeitarsus</i>	8	—N— —N— —O— —P— —P— —P— —P—

Source : d'après www.zoology.ubc.ca.

► Comprendre la question

L'objectif du sujet est de comprendre la biodiversité présentée en Asie par un petit oiseau, le pouillot verdâtre. Il s'agit d'expliquer pourquoi deux populations de pouillots vivant l'une à côté de l'autre sont toutes fécondes, alors que les autres populations de pouillots vivant l'une à côté de l'autre sont toutes fécondes. L'originalité du sujet réside dans le fait que la diversité des populations n'est pas étudiée à partir des caractères morphologiques mais à partir des chants des oiseaux, codés en lettres de l'alphabet pour être étudiés plus facilement. L'énoncé ne donne aucune indication sur la construction de la réponse et plusieurs plans sont possibles. Le corrigé proposé comporte deux parties : d'abord l'explication de l'origine de l'absence d'interfécondité entre les deux populations étudiées, puis la reconstitution de l'histoire du peuplement de l'Asie par le pouillot verdâtre à l'origine de cette situation actuelle. Dans la réponse, il est important de bien justifier en citant les lettres des sonogrammes étudiés. Il s'agit d'un sujet assez difficile car il nécessite une bonne compréhension des mécanismes évolutifs liés à la diversification du vivant et à la spéciation ainsi que de la prudence dans la reconstitution de l'histoire évolutive du pouillot verdâtre.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau ci-après présente un exemple de démarche construite au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Introduction : Comment expliquer que <i>P. viridanus</i> et <i>P. plumbeitarsus</i> ne puissent se reproduire entre eux et quels mécanismes évolutifs ont conduit à cette absence de reproduction ?		
Comment expliquer que <i>P. viridanus</i> et <i>P. plumbeitarsus</i> ne puissent se reproduire entre eux ?	<p>Document 1a. <i>P. viridanus</i> et <i>P. plumbeitarsus</i> partagent une partie de leurs aires de répartition au nord du plateau Tibétain.</p> <p>Documents 2 et 3. Étude des chants enregistrés sous forme de sonogrammes, codés en lettres de l'alphabet.</p> <p>La reconnaissance des partenaires sexuels par leur chant est indispensable à l'accouplement.</p> <p>Les sonogrammes de <i>P. viridanus</i> et <i>P. plumbeitarsus</i> sont très différents.</p> <p><i>P. viridanus</i> et <i>P. plumbeitarsus</i> ne peuvent se reconnaître par le chant : leur reproduction est impossible.</p>	L'isolement reproducteur correspond à l'impossibilité pour deux populations de se reproduire.
Quels mécanismes évolutifs ont conduit à l'absence de reproduction entre <i>P. viridanus</i> et <i>P. plumbeitarsus</i> ?	<p>Documents 1a et 1b. La répartition des populations de pouillot verdâtre résulte de migrations successives à partir de la zone B, soit à l'est du plateau du Tibet soit à l'ouest du plateau du Tibet.</p> <p>Document 3. Les chants des oiseaux des différentes populations sont le résultat d'une diversification du vivant au cours de l'évolution. <i>P. viridanus</i> et <i>P. plumbeitarsus</i> sont le résultat d'évolutions indépendantes à partir d'une même population initiale.</p>	L'évolution est la transformation des populations au cours du temps. Elle se caractérise par une diversification du vivant. La définition biologique de la notion d'espèce est fondée sur le critère d'interfécondité. La spéciation est la formation de nouvelles espèces.
Conclusion		

Le pouillot verdâtre est un petit oiseau appartenant au genre *Phylloscopus*. En Asie, 8 populations d'oiseaux sont réparties en 5 espèces qui diffèrent par de faibles variations morphologiques. Les populations géographiquement voisines peuvent se reproduire entre elles, sauf *Phylloscopus viridanus* et *Phylloscopus plumbeitarsus*, qui ne sont pas interfécondes. Comment expliquer que *P. viridanus* et *P. plumbeitarsus* ne puissent se reproduire entre eux et quels mécanismes évolutifs ont conduit à cette absence de reproduction ? Nous répondrons à ces problématiques en étudiant la répartition géographique des différentes populations de pouillots en Asie et en analysant les sonogrammes caractéristiques de chaque population.

P. viridanus occupe une aire de répartition située au nord-ouest du plateau Tibétain et dans le centre et l'ouest de la Russie. *P. plumbeitarsus* est localisé en Russie, au nord-est du plateau Tibétain. Les aires de répartition de ces deux espèces se chevauchent au centre de la Russie, c'est-à-dire au nord du plateau Tibétain, plus précisément au nord de la Mongolie (document 1a). Comme les pouillots présentent une faible diversité morphologique, on propose de les caractériser en étudiant les chants des mâles. Ces chants sont enregistrés sous forme de sonogrammes et les séquences sonores sont codées en lettres de l'alphabet selon le principe suivant : plus les échantillons sonores sont proches, plus les lettres codant les sons sont voisines dans l'alphabet (document 2). Les sonogrammes de *P. viridanus* (séquences sonores : ABC pour la population 1 ou DDDEE pour la population 2) et de *P. plumbeitarsus* (séquences sonores : NNOPPPP pour la population 8) présentent des lettres très éloignées dans l'alphabet (document 3). Ainsi, les chants des mâles de *P. viridanus* et de *P. plumbeitarsus* se caractérisent par des sons très différents. Or, les oiseaux ne peuvent communiquer entre eux que si les sonogrammes sont proches. De plus, on sait que le chant du pouillot mâle sert à défendre son territoire et attirer les femelles. La reconnaissance des partenaires sexuels par le chant est donc un préalable indispensable à l'accouplement (document 3). Ainsi, même si *P. plumbeitarsus* et *P. viridanus* ont des aires de répartition chevauchantes, la trop grande différence entre les chants des mâles empêche les femelles d'une population de reconnaître les mâles de l'autre population. Cette différence forme une barrière comportementale à la reproduction des deux populations, à l'origine d'un isolement reproducteur de ces deux espèces. Comment expliquer l'origine de cette différence entre les chants des mâles de *P. plumbeitarsus* et *P. viridanus* ?

La zone B, localisée au sud-est du plateau Tibétain, correspond à l'aire de répartition initiale des pouillots, d'où ils ont migré en agrandissant leur territoire. En partant de la zone B et en contournant le plateau Tibétain par l'ouest, on observe dans l'ordre les populations 5, 4, 3, 2 puis 1 (documents 1a et 1b). On remarque que la population 5 présente un sonogramme (III) proche de celui de la population 4 (HHHHH), lui-même proche de la population 3 (FFFGG), peu différent de celui de la population 2 (DDDEE), lui-même proche de celui de la population 1 (ABC) (document 3). Cette proximité entre les sonogrammes de populations voisines s'observe aussi à l'est du plateau du Tibet. En effet, à proximité de la zone B, la population 6 présente un sonogramme (JJJJKK), proche de celui de la population 7 (LLLMMM), située plus au nord. Ce sonogramme de la population 7 est proche de celui de la population 8 (NNOPPPP), localisée au nord-est de la Russie. La zone A située entre les aires de répartition des populations 7 et 8 comprenait une population de pouillots disparue sous l'effet de la déforestation (document 1b).

L'existence de cette zone met en évidence la continuité des migrations des pouillots contournant le plateau Tibétain par l'est.

Ainsi, les pouillots se sont éloignés par migration de leur zone initiale de peuplement. Le chant des mâles s'est d'autant plus modifié que la distance de migration par rapport à la zone de répartition initiale est élevée. Les populations voisines ont donc des chants proches sauf *P. plumbeitarsus* et *P. viridanus*. En effet, *P. plumbeitarsus* et *P. viridanus* résultent chacun de deux populations de pouillots qui ont contourné séparément le plateau du Tibet, soit par l'est, soit par l'ouest. Ces deux populations ont évolué de manière différente, indépendamment l'une de l'autre, entraînant une forte diversification des chants des mâles.

Ainsi *P. plumbeitarsus* et *P. viridanus* partagent une partie de leurs aires de répartition au centre de la Russie, mais ces deux populations sont isolées l'une de l'autre d'un point de vue reproducteur. La trop grande différence entre les chants des mâles de ces deux populations empêche les femelles de reconnaître les mâles, d'où l'absence d'accouplement entre *P. plumbeitarsus* et *P. viridanus*. Ces deux populations forment donc deux espèces différentes, d'après la définition biologique de l'espèce fondée sur le critère d'interfécondité. Les différences entre les chants de ces espèces résultent de modifications accumulées au cours du temps lors de la migration des oiseaux à partir du sud du plateau Tibétain. Des populations de pouillots ont contourné le plateau Tibétain par l'est et d'autres par l'ouest. Comme les évolutions des chants s'effectuent de manière indépendante, les populations résultantes de la migration par l'est présentent des chants différents de ceux des populations ayant migré par l'ouest. Lorsque les deux populations se rencontrent au nord de la Mongolie, leurs chants sont devenus trop différents pour permettre leur reproduction. La diversification des êtres vivants a entraîné ici l'apparition de nouvelles espèces : il s'agit d'un exemple de spéciation.

Inde, avril 2014, partie 2, exercice 2

Coopération entre le tambalacoque et le dodo

Le tambalacoque (*Calvaria major*) est un arbre endémique de l'île Maurice, c'est-à-dire qui n'existe que sur cette île.

En 1973, l'espèce était en voie de disparition : il ne restait en effet que 13 spécimens, tous âgés de 300 ans.

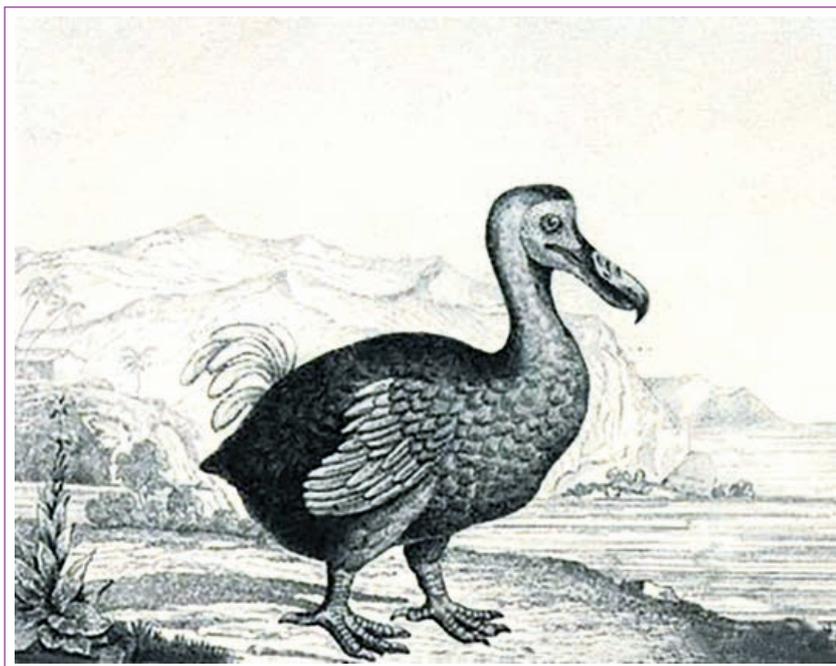
Le professeur américain Stanley Temple défendit l'explication selon laquelle la disparition au XVII^e siècle d'un « gros dindon » endémique de l'île Maurice, le dodo (*Raphus cucullatus*), se nourrissant de graines et de fruits, pouvait être mise en relation avec celle du tambalacoque. Il émit l'hypothèse que, pour germer, ces graines devaient transiter par le système digestif du dodo. Ainsi, l'extinction de cet animal condamnait le tambalacoque à la disparition.

Rechercher des arguments favorables à l'existence d'une relation de dépendance exclusive du tambalacoque envers le dodo, défendue par Stanley Temple, et montrer que cette idée divise la communauté scientifique.

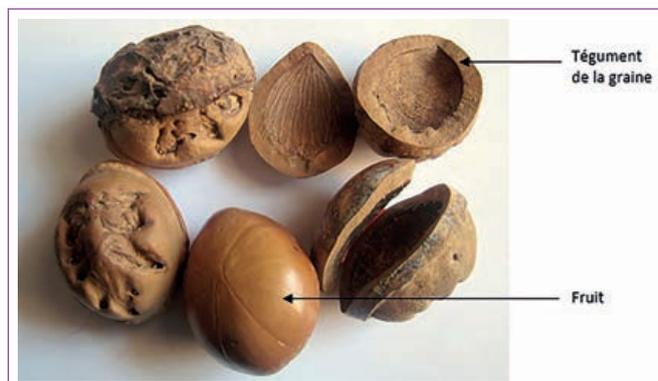
Votre réponse s'appuiera sur l'exploitation du dossier et l'utilisation de connaissances.

○ Documents de référence

Gravure de dodo (fin du XVII^e siècle)



Photographie de fruits de tambalacoque

Tambalacoque (*Calvaria*)

Source : d'après www.svt.ocean-indien.pagesperso-orange.fr/.

○ Document 1

Extrait de *Le Pouce du panda* de Stephen Jay Gould

Les gros fruits du tambalacoque, qui ont quelque cinq centimètres de diamètre, sont composés d'une graine enveloppée dans un tégument dur d'environ un centimètre d'épaisseur. Ce tégument est entouré par une chair juteuse et succulente recouverte par une fine peau externe. Selon les conclusions de Temple, les graines de tambalacoque ne parviennent pas à germer à cause de l'épaisseur du tégument [...].

Sujet 8 | Énoncé

Les premiers explorateurs ont écrit que le dodo se nourrissait des fruits et des graines des grands arbres des forêts. Le dodo avait un « estomac » puissant, rempli de gros cailloux, qui pouvaient abraser et écraser les aliments durs. [...] Temple estima que les téguments des graines de tambalacoque étaient assez épais pour résister à l'écrasement mais pas à l'abrasion [...].

Les dodos auraient fort bien pu régurgiter les téguments, ou leur faire poursuivre leur chemin dans l'appareil digestif [...].

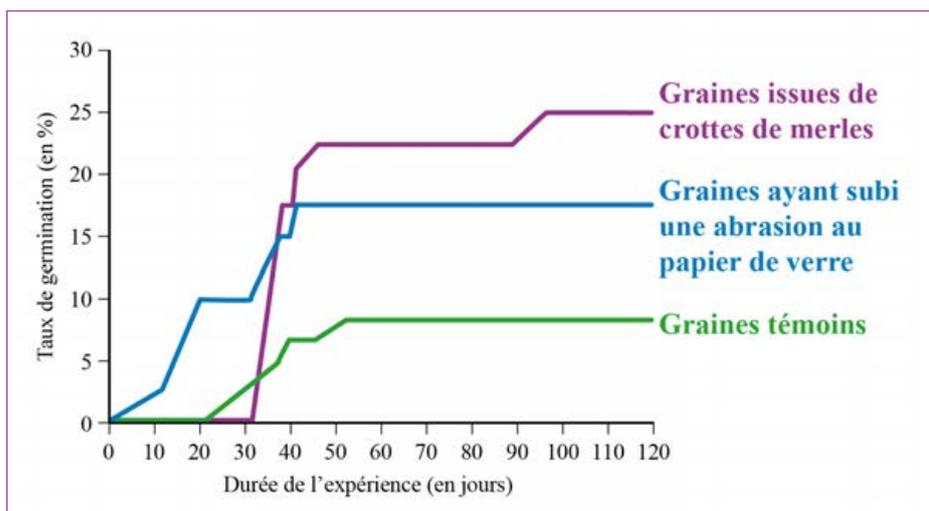
Source : d'après Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, 1996.

Document 2

Les conditions de germination des graines de genévrier

Chez les plantes sauvages, la germination des graines est généralement empêchée par la présence d'un tégument épais, dur et imperméable.

Des suivis de germination ont été réalisés pendant 120 jours sur des graines de genévrier dans différentes conditions. L'abrasion au papier de verre permet d'user les téguments des graines.

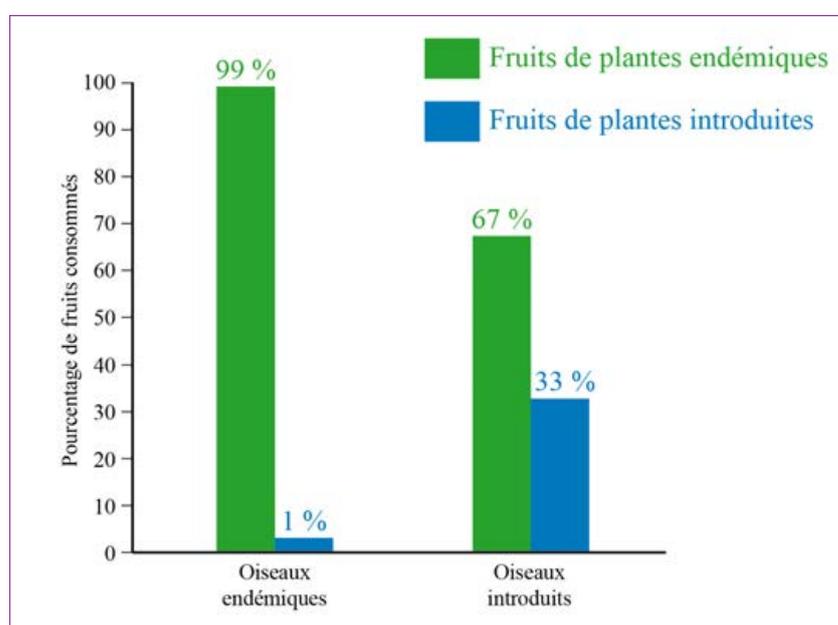


Source : d'après biologie.ens-lyon.fr.

○ Document 3

Alimentation des oiseaux endémiques et des oiseaux introduits sur l'île de Nouvelle-Zélande

Une étude a été réalisée, en Nouvelle-Zélande, sur le rôle des oiseaux dans la dispersion des graines de plantes endémiques (*Podocarpus hallii*) et de plantes introduites par l'homme. Pour cela, on a capturé des oiseaux endémiques, comme le Méliphage carillonneur (*Anthornis melanura*), et différentes espèces de passereaux introduites par l'homme.



Source : d'après William et Karl, « Fruit in the diet of birds », *New Zealand Journal of Ecology*, 1996.

○ Document 4

Extrait de *Le Pouce du panda* de Stephen Jay Gould

Le docteur Owadally du service mauricien des forêts mit sérieusement en doute la thèse de Temple dans un commentaire technique publié dans la revue *Science* [...].

[...] Le service des forêts étudie et réalise depuis quelques années la germination des graines de tambalacoque sans intervention d'aucun oiseau.

De plus, un inventaire des forêts tropicales des hautes terres dressé en 1941 a montré qu'il existait une population assez importante de jeunes plants de tambalacoque qui avaient certainement moins de soixante-quinze ans. L'extinction du dodo remonte pourtant à 1675 ! [...].

Source : d'après Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, 1996.

► Comprendre la question

Il s'agit d'étudier la coopération entre un oiseau, le dodo de l'île Maurice, et un arbre, le tambalacoque, dans la dissémination des fruits et des graines de cet arbre. D'après l'énoncé, la réponse doit être structurée en 2 parties : d'abord, la présentation des arguments en faveur d'une dépendance exclusive du tambalacoque vis-à-vis du dodo pour sa reproduction (documents 1, 2 et 3) puis la remise en cause de l'exclusivité de cette dépendance (documents 3 et 4). Cet exercice intéressant pose la question du devenir d'une espèce – ici, le tambalacoque – lorsque l'espèce dont elle dépend – ici, le dodo – disparaît. Le sujet ne présente pas de difficulté particulière concernant la compréhension des notions abordées. Son originalité réside dans le fait qu'il demande de présenter des arguments en faveur de la dépendance exclusive de l'arbre vis-à-vis du dodo, puis de trouver ensuite les arguments contraires à partir des mêmes documents. Le document de référence n'a pas vocation à être analysé pour lui-même mais il fournit des informations générales aidant à l'exploitation des autres documents.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau ci-après présente un exemple de démarche construite au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
<p>Introduction : Quels sont les arguments montrant que le tambalacoque dépend exclusivement du dodo pour sa reproduction ? Quels sont les arguments remettant en cause l'exclusivité de cette dépendance ?</p>		
<p>Arguments en faveur de la dépendance exclusive du tambalacoque vis-à-vis du dodo pour sa reproduction.</p>	<p>Document 1. Lors de sa reproduction, le tambalacoque produit un fruit, mangé par le dodo, permettant ainsi à la dissémination de la graine.</p> <p>Document 3. Étude en Nouvelle-Zélande : les oiseaux endémiques consomment presque exclusivement des fruits issus des plantes endémiques.</p> <p>Document 2. Étude de la germination de graines de genévrier. L'abrasion mécanique du tégument de la graine et le passage de la graine dans le tube digestif augmentent l'efficacité de la germination.</p>	<p>Chez les plantes à fleurs, après la fécondation, la fleur se transforme en fruit tandis que l'ovule fécondé se transforme en graine. Chez les plantes à fleurs ayant une vie fixée, la dispersion des fruits ou des graines s'effectue par des agents, dont les animaux. Il existe une collaboration entre l'animal disséminateur et la plante qui produit les fruits contenant les graines. Cette collaboration est le résultat d'une coévolution.</p>
<p>Arguments remettant en cause la dépendance exclusive du tambalacoque vis-à-vis du dodo pour sa reproduction.</p>	<p>Document 4. Inventaire de 1941 à l'île Maurice : découverte de plants récents de tambalacoque. Des germinations de graines de tambalacoque ont lieu sans oiseau.</p> <p>Document 3. Étude en Nouvelle-Zélande : 67 % de fruits issus d'espèces endémiques sont consommés par des oiseaux introduits.</p>	
<p>Conclusion</p>		

À l'île Maurice, il existe une espèce d'arbre endémique, le tambalacoque (*Calvaria major*), actuellement en voie de disparition. Cette île abritait jusqu'au xvii^e siècle un oiseau, le dodo de l'île Maurice (*Raphus cucullatus*), dont l'espèce s'est éteinte en 1675. Le professeur américain Stanley Temple a émis l'hypothèse que le dodo, en se nourrissant des fruits et des graines du tambalacoque, participait à la reproduction de cet arbre. La disparition du dodo aurait alors eu comme conséquence de mettre en danger le tambalacoque en tant qu'espèce. Quels sont les arguments montrant que la reproduction du tambalacoque dépendait exclusivement du dodo ? Toute la communauté scientifique est-elle favorable à cette hypothèse et, si non, quels sont les arguments contraires ? Nous étudierons d'abord les arguments en faveur de la participation exclusive du dodo à la reproduction du tambalacoque, en nous appuyant sur des études expérimentales des conditions de germination de graines. Puis, dans un second temps, nous présenterons les arguments qui remettent en cause la dépendance exclusive du tambalacoque vis-à-vis du dodo pour sa reproduction.

Le tambalacoque est un grand arbre qui forme des fruits de 5 cm de diamètre. Ce fruit est composé d'une graine, entourée d'un tégument dur, lui-même enveloppé d'une chair juteuse et savoureuse recouverte d'une fine peau (document 1). Il est décrit qu'avant la disparition du dodo, celui-ci se nourrissait de fruits et de graines qu'il trouvait au pied des grands arbres, sans doute des tambalacoques. De plus, l'étude sur l'alimentation des oiseaux en Nouvelle-Zélande montre que les oiseaux endémiques consomment 99 % de fruits issus des plantes endémiques et seulement 1 % de fruits issus de plantes introduites (document 3). On peut donc penser qu'avant de disparaître, le dodo se nourrissait de fruits et de graines de plantes endémiques, dont ceux du tambalacoque.

La graine du tambalacoque présente un tégument dur, qui empêche sa germination. L'étude de la germination de graines de genévrier dans différentes conditions montre qu'après 100 jours d'étude, les graines ayant subi une abrasion au papier de verre germent en plus grande proportion (18 %) que des graines témoins non abrasées (8 %) (document 2). Les graines issues de crottes de merles, c'est-à-dire ingérées et rejetées dans les fèces des oiseaux, présentent un taux de germination plus élevé (25 %) que les graines abrasées ou témoin. L'abrasion du tégument et le passage de la graine dans le tube digestif du merle augmentent donc l'efficacité de la germination. Or, le dodo avait un estomac rempli de cailloux capables de réaliser cette abrasion (document 1). Il pouvait alors soit régurgiter les graines du tambalacoque abrasées soit les rejeter dans ses fèces. Ainsi, il existait sans doute une coopération étroite entre le tambalacoque et le dodo : le tambalacoque permettait la nutrition du dodo tandis que le dodo contribuait à la dispersion des fruits et des graines en favorisant la germination des graines. Cette coopération entre le tambalacoque et le dodo est le résultat d'une coévolution. De plus, en 1973, il ne restait sur l'île Maurice que 13 tambalacoques, âgés de 300 ans. Le fait que la disparition du dodo au xvii^e siècle s'accompagne d'une absence de reproduction du tambalacoque depuis cette date montre que le tambalacoque était exclusivement dépendant du dodo pour sa reproduction.

Cependant, l'hypothèse d'une dépendance exclusive du tambalacoque vis-à-vis du dodo pour sa reproduction n'est pas partagée par tous les scientifiques. En effet, un inventaire de 1941 a mis en évidence une population importante de jeunes tambalacoques, dont certains avaient moins de 75 ans (document 4). Ces jeunes plants résultent donc d'une reproduction effectuée bien après l'ex-

tion du dodo au xvii^e siècle. D'ailleurs, le service des forêts réalise des germinations de tambalacoque sans intervention d'oiseau. D'après l'étude sur l'alimentation des oiseaux en Nouvelle-Zélande, les oiseaux introduits se nourrissent de 33 % de fruits issus d'espèces introduites et de 67 % de fruits issus d'espèces endémiques (document 3). On peut donc émettre l'hypothèse qu'une reproduction du tambalacoque serait possible en présence d'autres oiseaux que le dodo, comme des oiseaux introduits.

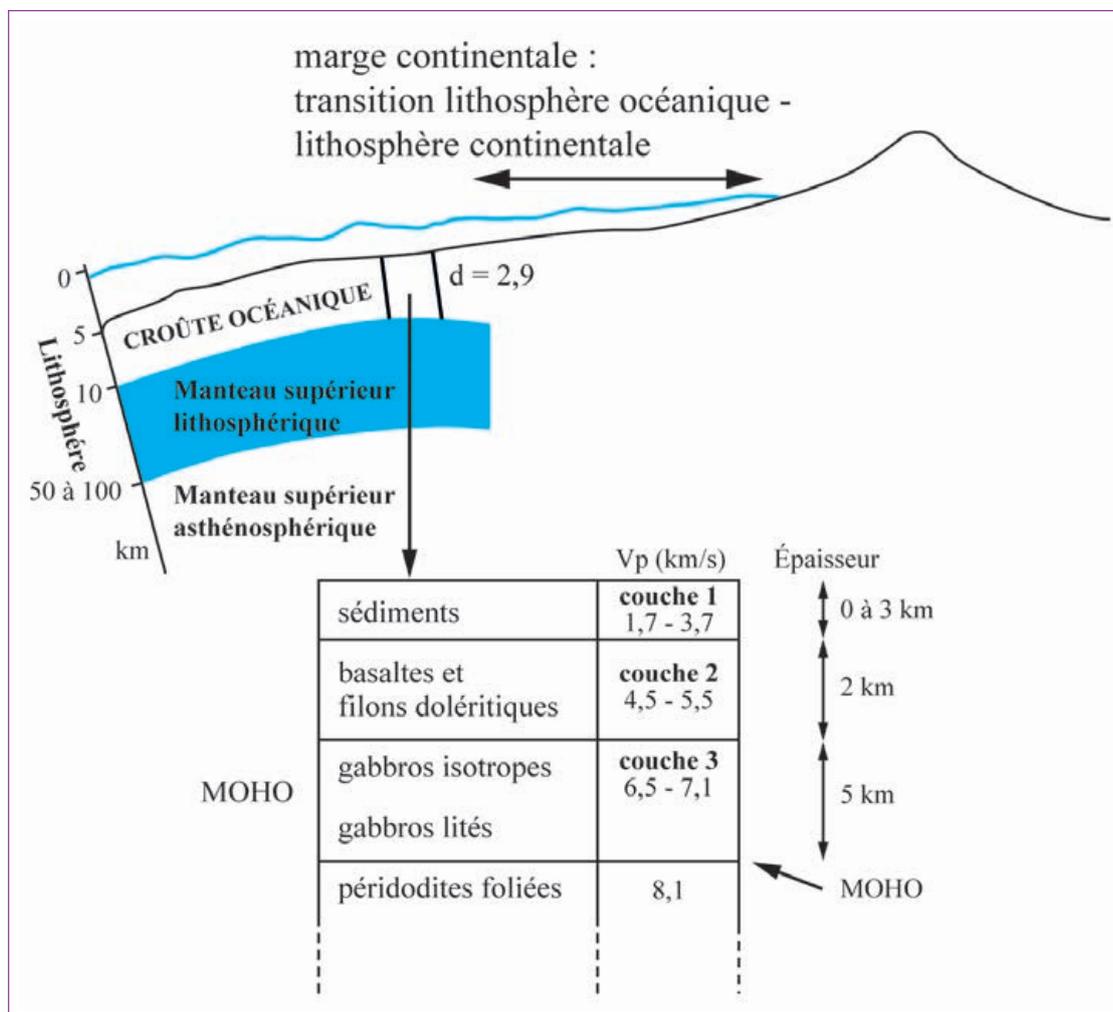
Ainsi, nous avons montré qu'avant son extinction en 1675, le dodo se nourrissait très probablement des fruits du tambalacoque et assurait la dissémination de ces graines. L'abrasion du tégument des graines dans l'estomac du dodo augmentait leur chance de germination. L'extinction du dodo en 1675 a remis en cause la reproduction du tambalacoque, qui était extrêmement dépendante de cet oiseau. Au début des années 1970, la population de tambalacoques était très réduite. Mais des indices suggèrent que, à la suite de la disparition du dodo, la reproduction du tambalacoque ait pu continuer en l'absence du dodo, permettant la survie du tambalacoque. Aujourd'hui, en 2014, il serait intéressant de mener de nouvelles recherches sur l'île Maurice pour connaître la situation de la population de tambalacoques.

Polynésie, juin 2013, partie 1

Lithosphères continentale et océanique

○ Document

Organisation et composition de la lithosphère océanique



Dans sa théorie, Alfred Wegener estimait que la différence d'altitude moyenne des continents (+ 100 m) et des océans (− 4 500 m) pouvait s'expliquer par l'existence de deux croûtes de nature différente.

Comparer les lithosphères océaniques et continentales.

Questionnaire à choix multiples

Cochez la réponse exacte pour chacune des questions.

Question 1

Les connaissances actuelles sur le domaine continental permettent de dire que :

- la croûte est en équilibre isostatique sur l'asthénosphère.
- la lithosphère est en équilibre isostatique sur l'asthénosphère.
- le manteau supérieur seul est en équilibre sur l'asthénosphère.

Question 2

La croûte océanique est globalement :

- plus âgée que la croûte continentale.
- plus jeune que la croûte continentale.
- du même âge que la croûte continentale.

Question 3

Une faille inverse est un indice tectonique :

- d'un raccourcissement.
- d'un étirement.
- d'une marge passive.

Question de synthèse

Votre synthèse s'accompagnera d'un schéma établi sur le modèle du document, complété par la partie lithosphère continentale.

► Comprendre la question

Le sujet est composé de deux parties : d'abord un QCM portant sur des connaissances sur les lithosphères continentale et océanique, puis une synthèse demandant de comparer la lithosphère océanique et la lithosphère continentale. Il s'agit de montrer quelles sont les similitudes et les différences présentées par les lithosphères océanique et continentale. L'énoncé n'apporte aucune indication concernant le plan de la synthèse, mais exige que soit présent un schéma comparatif des lithosphères océanique et continentale. Les indices du raccourcissement et de l'empilement de la croûte continentale sont hors sujet. Cette synthèse ne présente pas de difficulté particulière car elle est proche du cours et, de plus, le document de référence apporte des informations pouvant aider à la construction de la synthèse. Mais il faut cependant être attentif à fournir une réponse précise et complète.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La synthèse attendue doit être structurée et il est conseillé qu'elle comporte une introduction et une conclusion. L'énoncé exige que la réponse contienne un schéma comparatif des lithosphères océanique et continentale en s'appuyant sur le schéma du document de référence. Le schéma attendu doit être constitué du schéma du document recopié sur la copie avec les légendes (avec une colonne de roches simplifiée, par exemple) et sa partie droite est à compléter en représentant la lithosphère continentale, accompagnée de ses caractéristiques.

2^e étape : élaborer un plan détaillé de la synthèse au brouillon

Le tableau ci-après présente un exemple de plan détaillé construit au brouillon.

3^e étape : structurer l'introduction et la conclusion au brouillon

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Structure de la synthèse	Éléments issus des connaissances
Introduction : Quelles sont les principales similitudes et les principales différences que présentent les lithosphères océanique et continentale ?	
I. Structure de la lithosphère continentale et océanique	<p>Structure de la lithosphère : croûte océanique ou continentale, située au-dessus du manteau lithosphérique. Épaisseur moyenne de la lithosphère : 100 km (davantage pour la lithosphère continentale).</p> <p>Épaisseur moyenne de la croûte océanique : 7 km. Épaisseur moyenne de la croûte continentale : 30 km.</p> <p>Altitude moyenne des océans : - 3 800 m.</p> <p>Altitude moyenne des continents : + 800 m.</p> <p>Bilan : les deux lithosphères ont la même structure globale, mais la croûte océanique est moins épaisse que la croûte continentale, d'où les différences d'altitude moyenne observées des océans et des continents.</p>
II. Les roches et la densité des lithosphères continentale et océanique	<p>Le manteau lithosphérique constitué de péridotites a une densité de 3,3.</p> <p>Croûte océanique : sous une fine couche de sédiments, présence de basaltes recouvrant des gabbros. Croûte continentale : présence d'une fine couche de sédiments recouvrant des granites et des gneiss.</p> <p>Densités de la croûte océanique (2,9) et de la croûte continentale (2,8).</p> <p>Bilan : les lithosphères continentale et océanique présentent un manteau lithosphérique similaire, mais différent par la nature des roches composant la croûte. La croûte océanique, composée de basaltes et gabbros, est plus dense que la croûte continentale, composée de granite et de gneiss.</p>
III. L'âge des croûtes continentale et océanique	<p>Âge de la croûte océanique : de 0 à 200 Ma.</p> <p>Âge de la croûte continentale : de 0 à plus de 4 Ga. Bilan : la croûte océanique est globalement plus jeune que la croûte continentale car, à partir d'un certain âge, la lithosphère océanique, devenue plus dense que l'asthénosphère, disparaît par subduction dans le reste du manteau.</p>
Schéma-bilan : comparaison de la lithosphère continentale et de la lithosphère océanique	
Conclusion	

Questionnaire à choix multiples

Question 1

Les connaissances actuelles sur le domaine continental permettent de dire que : la lithosphère est en équilibre isostatique sur l'asthénosphère.

La lithosphère a une densité plus faible que l'asthénosphère : la lithosphère est donc en équilibre isostatique sur l'asthénosphère.

Question 2

La croûte océanique est globalement : plus jeune que la croûte continentale.

La croûte océanique est au maximum âgée de 200 Ma tandis que les roches les plus anciennes de la croûte continentale sont âgées de 4,02 Ga : la croûte océanique est donc globalement plus jeune que la croûte continentale.

Question 3

Une faille inverse est un indice tectonique : d'un raccourcissement.

Les failles inverses se forment lors d'une tectonique en compression, marquée par un raccourcissement horizontal des terrains.

Question de synthèse

Introduction

La lithosphère est l'enveloppe supérieure du globe terrestre, constituée de la croûte et du manteau lithosphérique sous-jacent. En domaine continental, une grande partie de la croûte continentale est visible à l'affleurement tandis que la croûte océanique, recouverte par l'eau des océans, est difficilement accessible. Quelles sont les principales similitudes et les principales différences que présentent les lithosphères océanique et continentale ? Nous présenterons d'abord la structure de ces deux lithosphères, puis nous étudierons les roches qui les composent et enfin nous comparerons l'âge des roches de la croûte océanique avec l'âge des roches de la croûte continentale.

I. Structure des lithosphères continentale et océanique

Les lithosphères océanique et continentale présentent la même structure globale : elles sont composées d'une couche supérieure, la croûte, et d'une couche inférieure, le manteau lithosphérique. L'épaisseur moyenne de la lithosphère est de 100 km, voire davantage pour la lithosphère continentale. Les deux lithosphères diffèrent par la nature de la croûte, qui est soit océanique, soit continentale.

La discontinuité du Moho sépare la croûte du manteau lithosphérique sous-jacent. La profondeur du Moho peut être estimée par l'étude de la propagation des ondes sismiques. Ainsi, la lithosphère océanique comporte une croûte océanique, de 10 km d'épaisseur en moyenne. La croûte continentale admet une épaisseur moyenne de 30 km, mais qui peut atteindre jusqu'à 70 km au niveau des chaînes de montagnes.

L'altitude moyenne des océans est de $- 3\,800$ m tandis que l'altitude moyenne des continents est de $+ 800$ m. Ces valeurs récentes, qui diffèrent de celles obtenues par Wegener il y a un siècle environ, correspondent à des estimations plus précises de l'altitude moyenne des océans et des continents. La croûte océanique est donc beaucoup moins épaisse que la croûte continentale, ce qui explique les différences d'altitude moyenne des océans et des continents.

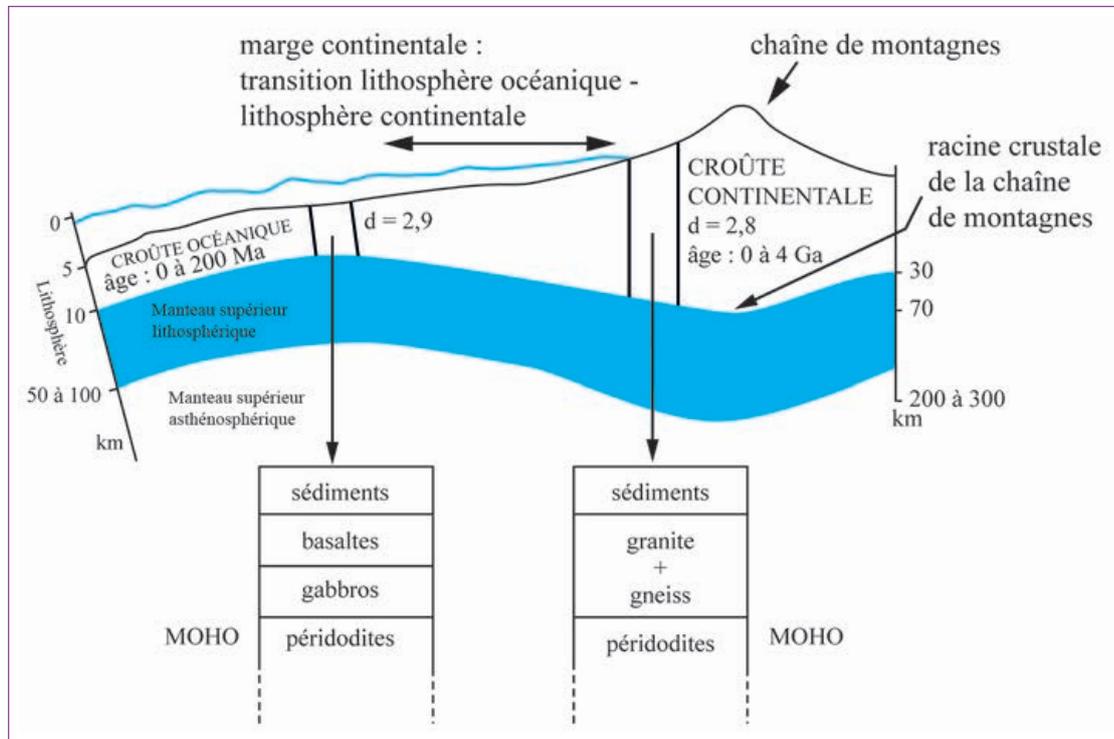
II. Les roches et la densité des lithosphères continentale et océanique

Le manteau lithosphérique sous les croûtes continentale et océanique est constitué de péridotites dont la densité est de 3,3. Au niveau de la lithosphère océanique, la croûte comporte en surface une fine couche de sédiments, qui recouvrent des basaltes surmontant des gabbros. La densité de la croûte océanique est de 2,9. La croûte continentale comporte souvent une fine couche de sédiments recouvrant des granites et des gneiss. La densité de la croûte continentale est de 2,8. Ainsi, les lithosphères continentale et océanique présentent un manteau lithosphérique similaire, mais elles diffèrent par la nature et la densité des roches composant leur croûte. La croûte océanique est plus dense que la croûte continentale.

III. L'âge des croûtes continentale et océanique

Les méthodes de datation par radiochronologie permettent d'estimer l'âge des roches des croûtes océanique et continentale. L'âge des roches de la croûte océanique est compris entre 0 à 200 Ma tandis que les roches de la croûte continentale ont un âge compris entre 0 et 4 Ga environ. Ainsi, la croûte océanique est globalement beaucoup plus jeune que la croûte continentale. En effet, à partir d'un certain âge et au maximum à 200 Ma, la lithosphère océanique, devenue plus dense que l'asthénosphère, rentre en subduction dans le reste du manteau, ce qui n'est généralement pas le cas des roches de la lithosphère continentale.

Schéma-bilan : Comparaison de la lithosphère continentale et de la lithosphère océanique



Conclusion

Ainsi, les lithosphères océanique et continentale sont toutes les deux composées de croûte et de manteau lithosphérique, mais elles diffèrent grandement par la nature de la croûte qui les compose. La croûte océanique est moins épaisse et globalement plus jeune que la croûte continentale. La croûte océanique, composée essentiellement de basaltes et de gabbros, est plus dense que la croûte continentale, constituée principalement de roches proches du granite. Les différences entre les deux types de croûtes expliquent la différence d'altitude moyenne des océans et des continents. Si la lithosphère océanique, au maximum âgée de 200 Ma, disparaît au niveau des zones de subduction, quel est le devenir de la croûte continentale ?

Sujet national, juin 2013, partie 1

Le magmatisme en zone de subduction

Les zones de subduction, domaines de convergence de la lithosphère, sont le siège d'une importante activité magmatique. Celle-ci aboutit à une formation de croûte continentale.

Décrire comment dans un contexte de subduction se met en place l'activité magmatique et préciser comment celle-ci intervient dans la production de nouveaux matériaux continentaux.

L'exposé doit être structuré avec une introduction et une conclusion et sera accompagné d'un schéma de synthèse.

► **Comprendre la question**

Le sujet de la synthèse est le magmatisme dans les zones de subduction. Il s'agit d'abord d'expliquer l'origine de cette activité magmatique, c'est-à-dire de préciser les conditions nécessaires à la formation du magma. Puis il faut montrer que ce magma est à l'origine de la production des nouveaux matériaux de la croûte continentale. L'idée essentielle à exposer est qu'au niveau des zones de subduction, l'enfouissement des roches de la croûte océanique préalablement hydratée entraîne une libération d'eau, qui provoque la fusion partielle des péridotites mantelliques situées sous la croûte continentale. Le magma ainsi produit s'élève dans la lithosphère et permet la formation de nouvelles roches de la croûte continentale. Attention à bien délimiter le sujet : la formation de la croûte océanique au niveau de la dorsale et le moteur de la subduction liée à la densité accrue de la lithosphère océanique vieillissante sont hors sujet. Cette synthèse est proche du cours et ne pose pas de difficultés quant à l'élaboration de sa structure mais elle fait appel à des notions précises de géologie, parfois délicates à exposer correctement.

► **Procéder par étapes**

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

Il s'agit ici d'une synthèse structurée accompagnée d'une introduction et d'une conclusion, et comprenant obligatoirement un schéma de synthèse du magmatisme en zone de subduction. Ce schéma permet de vérifier que le candidat réussit à représenter les phénomènes liés à la subduction et à localiser correctement la zone de formation du magma ainsi que la production des roches plutoniques et volcaniques au niveau de la croûte continentale.

2^e étape : élaborer un plan détaillé de la synthèse au brouillon

Le tableau suivant présente un exemple de plan détaillé élaboré au brouillon.

Structure de la synthèse	Éléments issus des connaissances
Introduction : Comment se met en place l'activité magmatique dans un contexte de subduction et comment cette activité magmatique intervient-elle dans la formation de nouveaux matériaux continentaux ?	
I. Mise en place de l'activité magmatique dans un contexte de subduction	<p>Hydratation par métamorphisme de la croûte de la lithosphère océanique lorsqu'elle s'éloigne de la dorsale.</p> <p>Déshydratation par métamorphisme de la croûte de la lithosphère océanique en subduction.</p> <p>L'eau ainsi libérée provoque la fusion partielle des péridotites mantelliques : formation d'un magma.</p>
II. La production de nouveaux matériaux continentaux	<p>Remontée du magma dans la lithosphère.</p> <p>La majeure partie du magma cristallise entièrement en profondeur formant des granitoïdes. Une faible partie du magma arrive en surface et est à l'origine d'un volcanisme explosif.</p> <p>Accrétion continentale : production de nouveaux matériaux de la croûte continentale.</p>
Schéma-bilan : activité magmatique au niveau d'une zone de subduction	
Conclusion	

3^e étape : structurer l'introduction et la conclusion au brouillon

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Question de synthèse

Introduction

Le phénomène de subduction se caractérise par le plongement d'une plaque lithosphérique océanique sous une autre plaque lithosphérique. Au niveau de la plaque lithosphérique chevauchante, une forte activité magmatique, c'est-à-dire la formation de roches issues du refroidissement d'un magma, est observée, contribuant à la formation de la croûte continentale. Comment se met en place l'activité magmatique dans un contexte de subduction et comment cette activité magmatique intervient-elle dans la formation de nouveaux matériaux continentaux ? Nous présenterons, dans une première partie, l'origine de l'activité magmatique au niveau d'une zone de subduction, puis, dans une seconde partie, nous étudierons comment cette activité permet la formation de nouveaux matériaux de la croûte continentale.

I. Mise en place de l'activité magmatique dans un contexte de subduction

L'activité magmatique se caractérise par la présence d'un magma issu de la fusion partielle des péridotites du manteau sous la croûte continentale de la plaque chevauchante. La zone de la fusion partielle des péridotites mantelliques est située à environ 100 km de profondeur.

Les conditions de pression et de température régnant à 100 km de profondeur ne permettent la fusion partielle de ces péridotites que si elles sont hydratées. Quelle est donc l'origine de l'eau permettant la fusion partielle dans le manteau ?

Après leur formation au niveau de la dorsale océanique, les roches de la lithosphère océanique sont soumises à des conditions de pression et de température différentes de celles de leur formation. En effet, les basaltes et les gabbros de la croûte océanique sont exposés à une température plus faible que celle de leur formation et, au contact de l'eau de mer, subissent des réactions métamorphiques caractérisées par une hydratation. Ces basaltes et ces gabbros métamorphisés deviennent donc respectivement des metabasaltes et des métagabbros du faciès schiste vert.

Au niveau de la zone de subduction, la forte élévation de la pression et la légère augmentation de la température entraînent un métamorphisme haute pression-basse température lorsque la lithosphère océanique plonge sous la lithosphère chevauchante. Les roches de la croûte océanique sont alors soumises à un métamorphisme d'intensité croissante. Les metabasaltes et les métagabbros du faciès schiste vert sont métamorphisés respectivement en metabasaltes et en métagabbros du faciès schiste bleu, puis en metabasaltes et en métagabbros du faciès éclogite. Ces réactions métamorphiques dans les faciès schiste bleu et éclogite s'accompagnent de réactions de déshydratation des roches de la croûte océanique. L'eau ainsi libérée par le métamorphisme migre vers le haut et provoque la fusion partielle des péridotites mantelliques situées vers 100 km de profondeur sous la croûte continentale de la plaque chevauchante. Le taux de fusion des péridotites mantelliques de l'ordre de 10 % est faible.

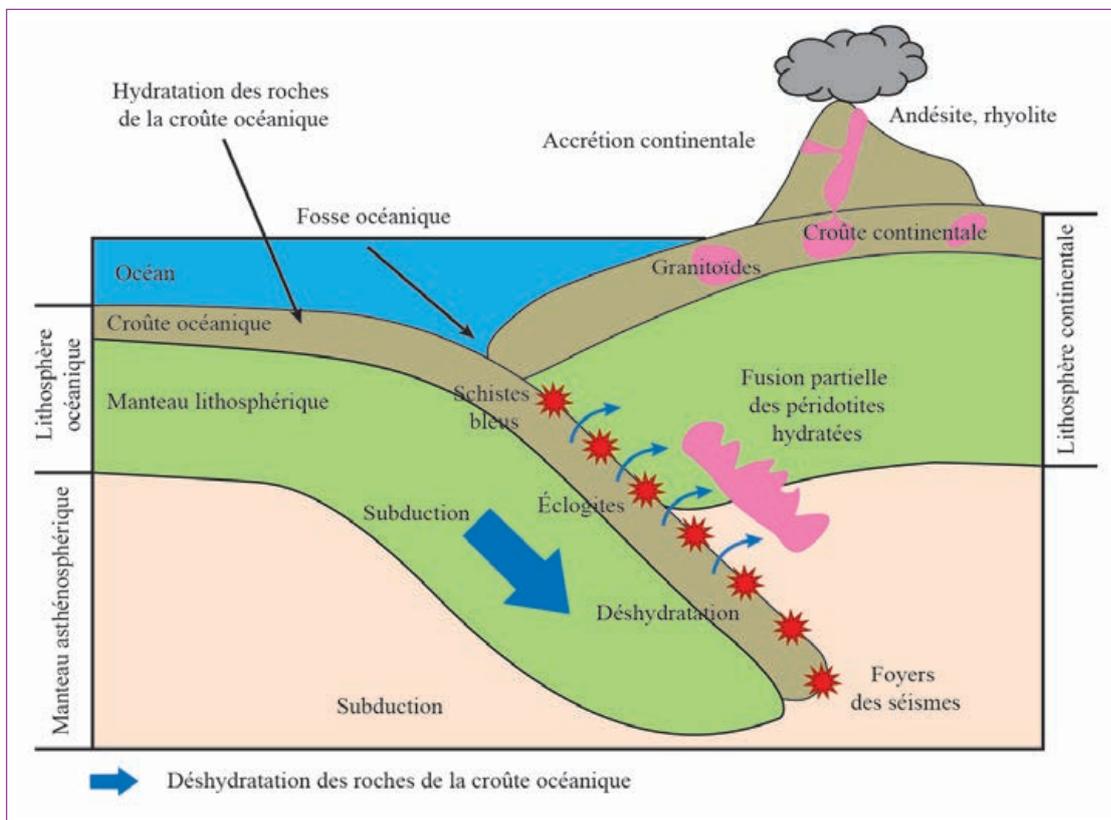
II. La production de nouveaux matériaux continentaux

Le magma chaud, moins dense que le matériel encaissant, s'élève dans le manteau lithosphérique puis dans la croûte continentale. Le magma, en s'élevant dans un milieu plus froid, cristallise, donnant ainsi naissance aux roches plutoniques en profondeur dans la croûte terrestre et aux roches volcaniques en surface.

Le refroidissement rapide en surface du magma forme des roches volcaniques, comme l'andésite ou la rhyolite, caractérisées par une texture microlithique, c'est-à-dire par la présence de minéraux cristallisés et de matière non cristallisée appelée verre. Le volcanisme de subduction se caractérise par des laves riches en silice (SiO_2), visqueuses et riches en gaz, d'où un volcanisme explosif.

Le refroidissement lent du magma en profondeur dans la croûte terrestre donne naissance à des roches plutoniques qui sont entièrement cristallisées, à structure grenue, de type granitoïde, comme le granite. Dans les zones de subduction, la majorité du magma (85 % environ) cristallise en profondeur dans la croûte formant des granitoïdes. Au niveau des zones de subduction, le magma d'origine mantellique aboutit donc à la création de nouveaux matériaux continentaux : il s'agit de l'accrétion continentale. Les zones de subduction sont ainsi le lieu privilégié de fabrication de la croûte continentale.

Schéma-bilan : Activité magmatique au niveau d'une zone de subduction



Conclusion

Ainsi, le métamorphisme de la croûte océanique plongeante s'accompagne d'une libération d'eau qui permet la fusion partielle des péridotites mantelliques situées sous la croûte continentale. Le magma ainsi formé migre vers la surface en se refroidissant et sa cristallisation donne naissance majoritairement à des roches plutoniques comme les granitoïdes en profondeur dans la croûte terrestre, mais aussi à un volcanisme explosif en surface. Quel est alors le devenir de ces nouveaux matériaux continentaux après leur formation dans un contexte de subduction ?

Sujet Liban, juin 2014, partie 2, exercice 1

La datation des roches de la croûte continentale

Un étudiant en géologie retrouve dans une collection de roches trois échantillons de granites provenant de Norvège, de Bretagne et de Basse-Normandie. Il sait que l'échantillon le plus ancien est le granite norvégien. L'échantillon breton porte une étiquette « environ 300 millions d'années ». Il dispose de documents permettant de les dater.

Vous devez l'aider à retrouver l'origine et l'âge des échantillons de granite. Exploitez les données afin de répondre au QCM situé à la suite des documents.

○ Document 1

Ia. Principe de datation d'une roche avec le couple d'éléments rubidium/ strontium

On mesure sur différents minéraux de la roche étudiée la quantité de ^{87}Rb , ^{86}Sr , ^{87}Sr . En reportant sur un graphique en abscisse le rapport $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, et en ordonnée le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pour chaque minéral étudié, on obtient **une droite isochrone** dont l'équation est :

$$y = (e^{\lambda t} - 1)x + b \text{ avec } y = ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \text{ et } x = ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$$

λ étant la constante de désintégration radioactive spécifique du couple rubidium/ strontium. Sa valeur n'est pas donnée car elle n'est pas utile pour l'exercice.

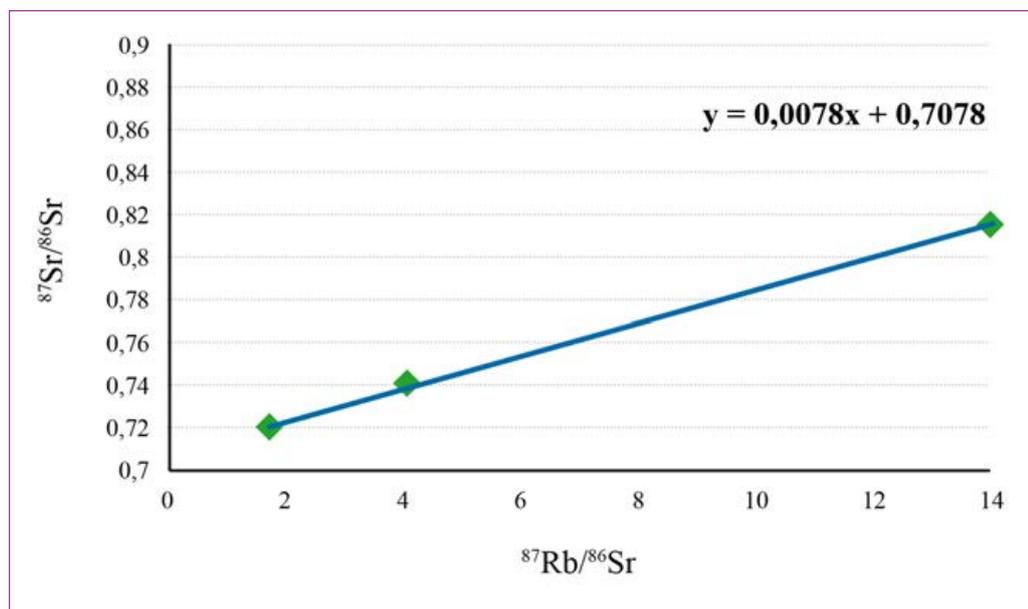
Ib. Détermination de t à partir de $(e^{\lambda t} - 1)$

Valeurs de $(e^{\lambda t} - 1)$	Âge approximatif en millions d'années (t)	Valeurs de $(e^{\lambda t} - 1)$	Âge approximatif en millions d'années (t)
0,0020	140	0,0151	1 050
0,0030	210	0,0161	1 120
0,0040	280	0,0171	1 200
0,0050	350	0,0182	1 270
0,0060	420	0,0192	1 340
0,0070	490	0,0202	1 400
0,0080	560	0,0212	1 480
0,0090	630	0,0222	1 550
0,0101	700	0,0233	1 620
0,0111	770	0,0243	1 690
0,0121	840	0,0253	1 760
0,0131	910	0,0263	1 830
0,0141	980	0,0274	1 900

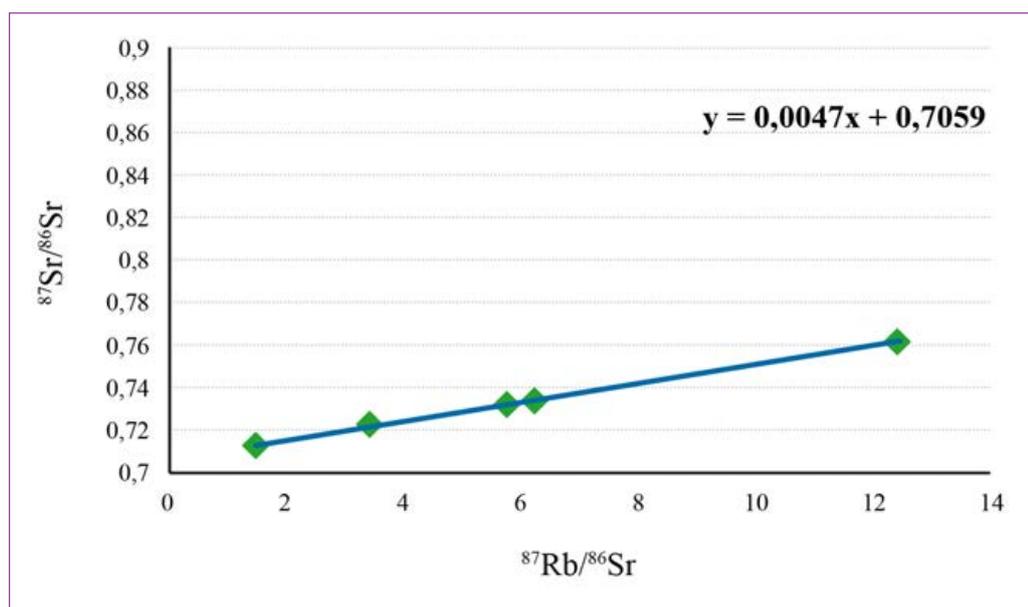
○ Document 2

Droites isochrones correspondant aux 3 échantillons

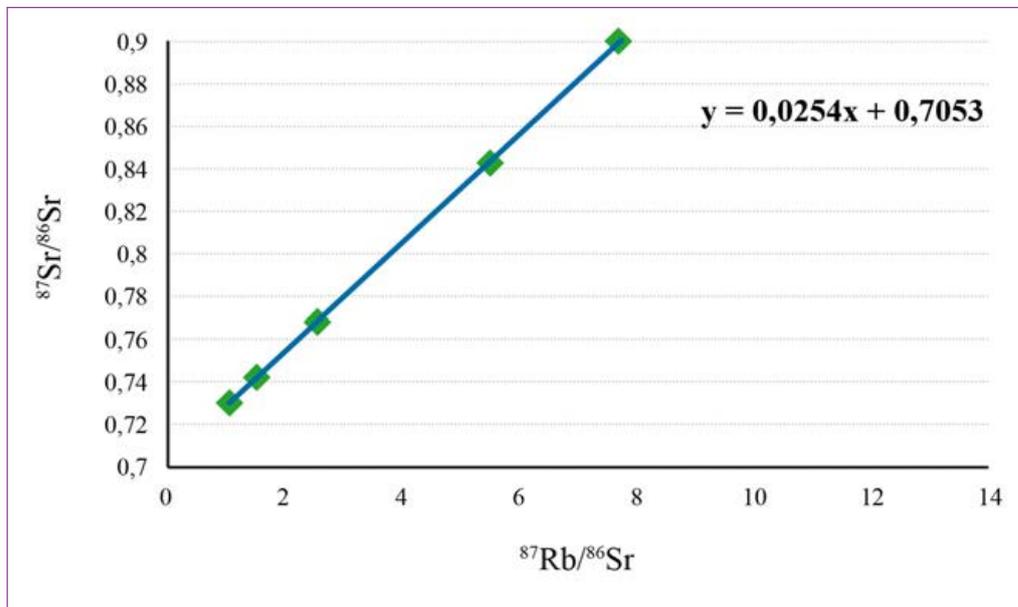
Isochrone de l'échantillon A



Isochrone de l'échantillon B



Isochrone de l'échantillon C



Source : <http://ansatte.uit.no/webgeology> et *Comprendre et enseigner la planète Terre*, Ophrys.

Questionnaire à choix multiples

À partir des informations tirées des documents, cocher la bonne réponse pour chaque série de propositions.

Question 1

La droite isochrone de l'échantillon C donne :

- $(e^{\lambda t} - 1) = 0,0254$ ce qui permet de déduire un âge d'environ 1 760 Ma.
- $(e^{\lambda t} - 1) = 0,00254$ ce qui permet de déduire un âge d'environ 1 760 Ma.
- $(e^{\lambda t} - 1) = 0,0254$ ce qui permet de déduire un âge d'environ 142 Ma.
- $(e^{\lambda t} - 1) = 0,00254$ ce qui permet de déduire un âge d'environ 142 Ma.

Question 2

L'étude des droites isochrones a permis de déduire l'âge des échantillons. L'étudiant en a conclu que :

- l'échantillon A est plus ancien que l'échantillon B lui-même plus ancien que l'échantillon C.
- l'échantillon C est plus ancien que l'échantillon B lui-même plus ancien que l'échantillon A.
- l'échantillon B est plus ancien que l'échantillon A lui-même plus ancien que l'échantillon C.
- l'échantillon C est plus ancien que l'échantillon A lui-même plus ancien que l'échantillon B.

Question 3

À partir de ces données il a pu retrouver les lieux d'origine des échantillons :

- l'échantillon A provient de Bretagne, B de Norvège, C de Basse-Normandie.
- l'échantillon A provient de Basse-Normandie, B de Norvège, C de Bretagne.
- l'échantillon A provient de Norvège, B de Basse-Normandie, C de Bretagne.
- l'échantillon A provient de Basse-Normandie, B de Bretagne, C de Norvège.

► Comprendre la question

Dans cet exercice portant sur la datation absolue avec les radio-isotopes Rb-Sr, il s'agit d'estimer, à partir des droites isochrones de trois échantillons A, B et C, leur âge et de préciser leur provenance géographique. Les connaissances nécessaires pour traiter l'exercice sont rappelées dans le document 1. Il est important d'avoir compris que plus la pente de la droite isochrone est élevée, plus l'échantillon est âgé. À partir de chaque droite isochrone (document 2), la valeur de la pente, correspondant à $(e^{\lambda t} - 1)$, est à reporter dans le tableau du document 1b pour obtenir une estimation de l'âge de l'échantillon étudié. Aucune justification n'est attendue.

Questionnaire à choix multiples

Question 1

La droite isochrone de l'échantillon C donne : $(e^{\lambda t} - 1) = 0,0254$ ce qui permet de déduire un âge d'environ 1 760 Ma.

Dans le graphique de l'échantillon C, la pente de la droite correspondant à $(e^{\lambda t} - 1)$ est de 0,0254. D'après le tableau du document 1b, la valeur de 0,0254 correspond à une valeur de t comprise entre 1 760 et 1 830 Ma.

Question 2

L'étude des droites isochrones a permis de déduire l'âge des échantillons. L'étudiant en a conclu que : l'échantillon C est plus ancien que l'échantillon A, lui-même plus ancien que l'échantillon B.

D'après les documents 1a et 1b, plus l'échantillon est âgé, plus la pente de la droite isochrone correspondante est forte. La pente de la droite isochrone de l'échantillon C (0,0254) est supérieure à la pente de la droite isochrone de l'échantillon A (0,0078), qui est elle-même supérieure à la droite de la pente isochrone de l'échantillon B (0,0047). On en déduit que l'échantillon C est plus âgé que l'échantillon A, qui est plus âgé que l'échantillon B.

Question 3

À partir de ces données, il a pu retrouver les lieux d'origine des échantillons : l'échantillon A provient de Basse-Normandie, B de Bretagne, C de Norvège.

L'introduction indique que l'échantillon le plus ancien est le granite norvégien, c'est-à-dire l'échantillon C (1 760 Ma). L'échantillon breton porte une étiquette indiquant environ 300 millions d'années, ce qui correspond à une valeur de $(e^{\lambda t} - 1)$ comprise entre 0,0040 et 0,0050, ce qui caractérise l'échantillon B (280-350 Ma). L'échantillon restant, l'échantillon A, provient donc de Basse-Normandie.

Sujet national, juin 2014, partie 2, exercice 1

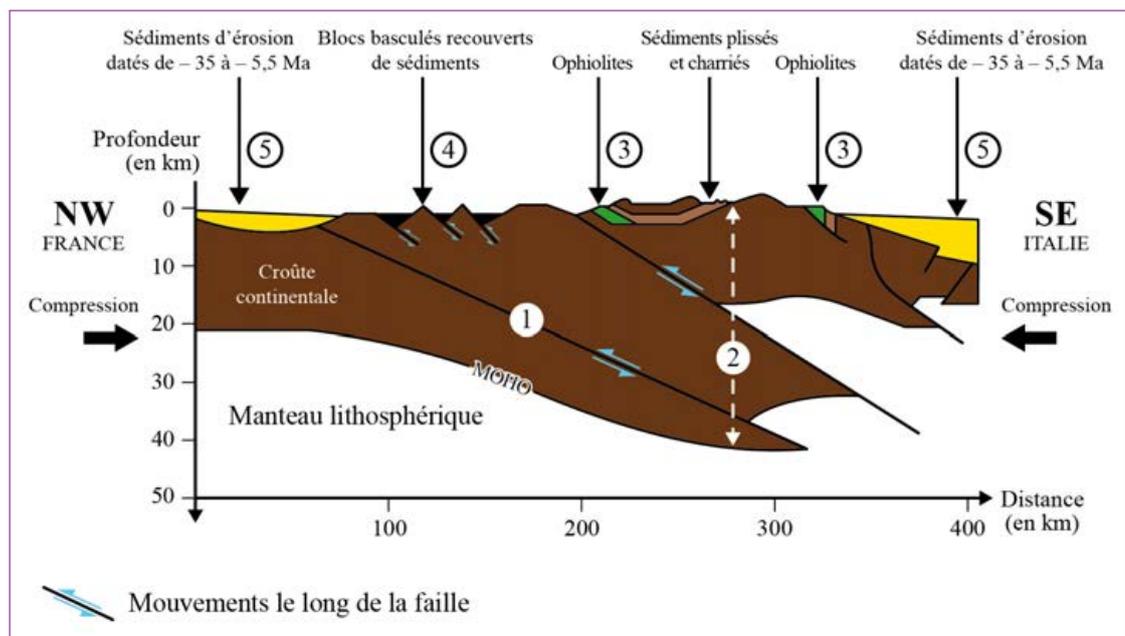
L'histoire des Alpes

On recherche dans les différentes structures de la chaîne alpine des éléments qui permettent de comprendre sa formation.

Les résultats des études sismiques effectuées dans les Alpes sont regroupés dans la coupe schématique ci-dessous.

Document

Coupe schématique interprétée des Alpes



Source : d'après profil ECORS.

Les chiffres correspondent à chaque série de propositions du QCM.

Questionnaire à choix multiples

À partir des informations tirées des documents, cocher la bonne réponse pour chaque série de propositions.

Question 1

La croûte continentale est fracturée. Les différents compartiments se sont déplacés les uns par rapport aux autres selon :

- un mouvement le long d'une faille normale associé à une compression.
- un mouvement le long d'une faille normale associé à une distension.
- un mouvement le long d'une faille inverse associé à une compression.
- un mouvement le long d'une faille inverse associé à une distension.

Question 2

L'épaississement de la croûte continentale est lié à :

- la formation d'une racine crustale et d'un relief constitué de sédiments plissés charriés.
- la disparition d'une racine crustale et d'un relief constitué de sédiments plissés charriés.
- la formation d'une racine crustale et d'un relief constitué de sédiments non déformés.
- la disparition d'une racine crustale et d'un relief constitué de sédiments non déformés.

Question 3

Les ophiolites sont :

- les traces d'une lithosphère océanique formée au préalable dans un contexte de convergence.
- les traces de lithosphère continentale formée au préalable dans un contexte de convergence.
- les traces d'une lithosphère océanique formée au préalable dans un contexte de divergence.
- les traces de lithosphère continentale formée au préalable dans un contexte de divergence.

Question 4

Les blocs basculés associés à des sédiments prouvent la présence, avant la formation de la chaîne de montagnes :

- d'une ancienne marge passive associée à une divergence.
- d'une ancienne marge passive associée à une convergence.
- d'une ancienne marge active associée à une divergence.
- d'une ancienne marge active associée à une convergence.

Question 5

Les sédiments d'érosion présents sur la coupe montrent :

- que la disparition des reliefs avait déjà débuté il y a – 35 Ma.
- que la disparition des reliefs a débuté il y a – 5,3 Ma.
- que la formation des reliefs a cessé dès – 35 Ma.
- que la formation des reliefs a cessé dès – 5,3 Ma.

► Comprendre la question

L'exploitation de la coupe schématique des Alpes et des connaissances du cours permet de répondre au QCM. Dans le QCM, chaque question porte un numéro de 1 à 5, qui se réfère aux numéros situés sur la coupe des Alpes. Les questions 3 et 4 font exclusivement appel à des connaissances du cours et leurs réponses ne peuvent être déduites de l'étude de la coupe. Aucune justification n'est attendue.

Questionnaire à choix multiples

Question 1

La croûte continentale est fracturée. Les différents compartiments se sont déplacés les uns par rapport aux autres selon : un mouvement le long d'une faille inverse associé à une compression.

Sur la coupe, le chiffre 1 désigne une faille, qui a entraîné un raccourcissement horizontal et un épaissement vertical des terrains : il s'agit donc d'une faille inverse, mise en place lors d'une tectonique en compression.

Question 2

L'épaississement de la croûte continentale est lié à : la formation d'une racine crustale et d'un relief constitué de sédiments plissés charriés.

Sur la coupe, le chiffre 2 se réfère en profondeur à des écailles de la croûte continentale, qui constitue la racine crustale des Alpes et en surface à des sédiments plissés et charriés.

Question 3

Les ophiolites sont : les traces d'une lithosphère océanique formée au préalable dans un contexte de divergence.

Cette définition des ophiolites fait partie de la connaissance du cours.

Question 4

Les blocs basculés associés à des sédiments prouvent la présence, avant la formation de la chaîne de montagnes : d'une ancienne marge passive associée à une divergence.

L'origine des blocs basculés est un élément de connaissance du cours.

Question 5

Les sédiments d'érosion présents sur la coupe montrent : que la disparition des reliefs avait déjà débuté il y a – 35 Ma.

Sur la coupe, le chiffre 5 désigne des sédiments d'érosion datés de – 35 à – 5,5 Ma. Ces sédiments résultent d'une érosion de la chaîne de montagnes, qui a débuté dès – 35 Ma.

Centres étrangers, juin 2013, partie 2, exercice 2

Modélisation de la formation des croûtes continentales primitive et actuelle

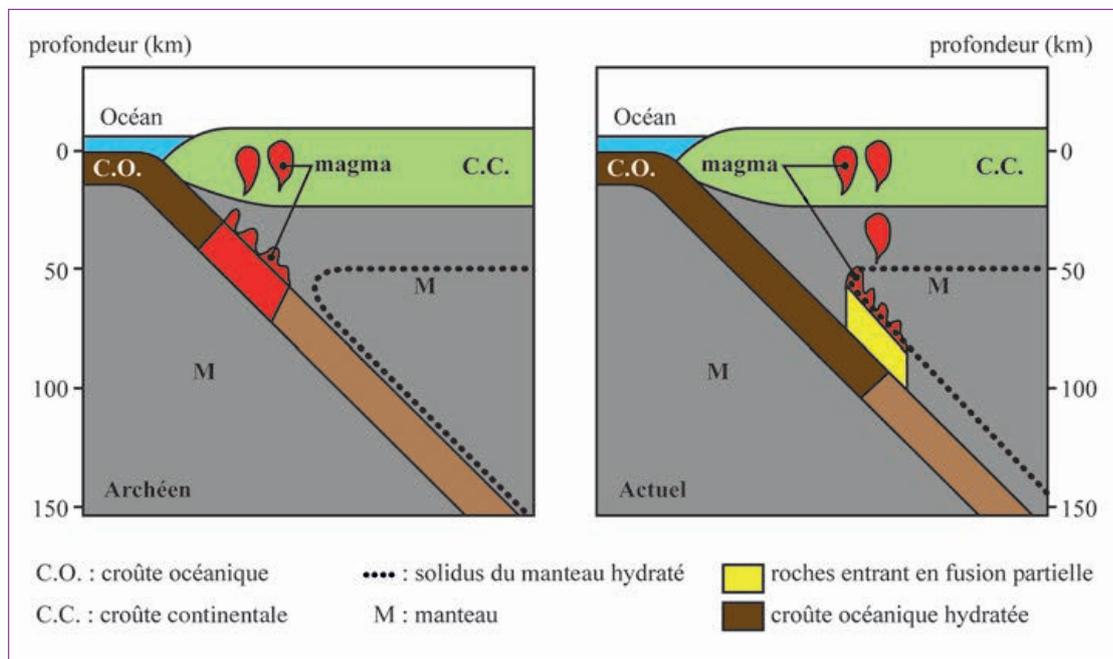
À l'Archéen, période comprise entre – 4 et – 2,5 milliards d'années, la Terre, beaucoup plus chaude, était le siège d'une activité magmatique intense, qui a donné naissance à la majeure partie de la croûte continentale actuelle.

Notre planète s'est ensuite progressivement refroidie, ce qui a entraîné des changements dans la source et dans les mécanismes de production de la croûte continentale.

Comparez les deux modèles de formation de la croûte continentale primitive et actuelle, au niveau d'une zone de subduction, puis discutez de la validité de chacun d'entre eux.

○ Document 1

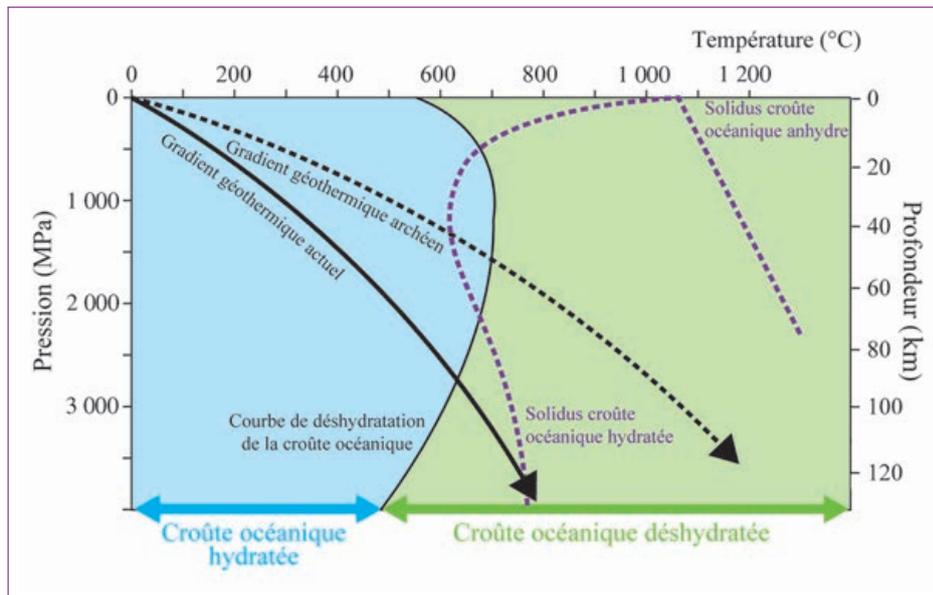
Modèles de genèse de la croûte continentale archéenne et actuelle



Source : d'après Hervé Martin et Jean-François Moyen, *Geology*, 2002.

Document 2

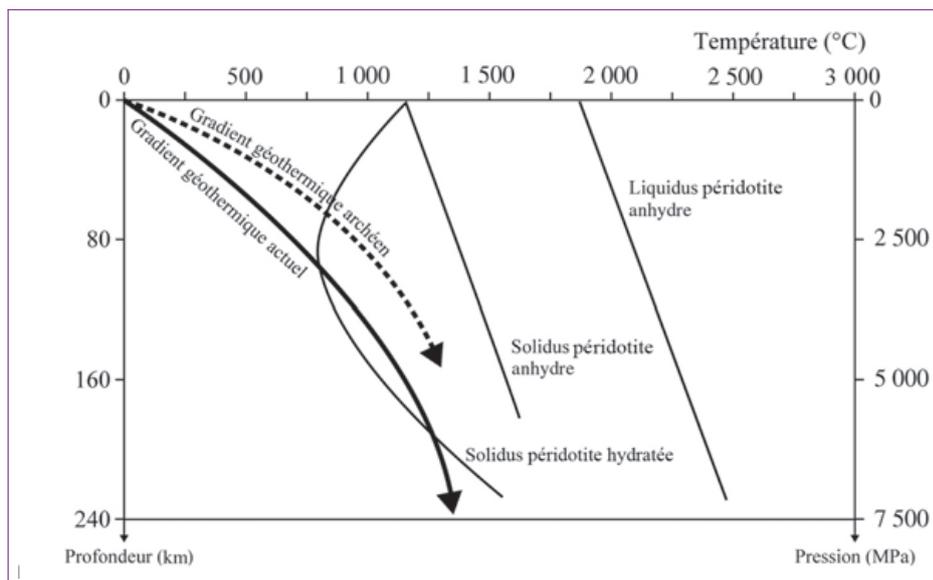
Conditions de fusion de la croûte océanique anhydre et hydratée et gradients géothermiques dans une zone de subduction actuelle et archéenne



Source : d'après Hervé Martin et Jean-François Moyen, *Geology*, 2002.

Document 3

Conditions de fusion d'une péridotite anhydre et hydratée et gradients géothermiques dans une zone de subduction actuelle



Source : d'après Hervé Martin et Jean-François Moyen, *Geology*, 2002.

► Comprendre la question

Le sujet présente deux modèles de formation de la croûte continentale au niveau des zones de subduction : l'un à l'Archéen (– 4 à – 2,5 Ga) pour la formation de la croûte continentale primitive, l'autre actuel à l'origine de la croûte continentale nouvellement formée. La question est clairement structurée en deux parties. Il s'agit d'abord de comparer les deux modèles de formation de la croûte continentale, puis de discuter de la validité de ces modèles à partir de l'étude des conditions de fusion des roches de la croûte océanique et des péridotites mantelliques au niveau des zones de subduction archéennes et actuelles. La principale difficulté de ce sujet réside dans la lecture correcte des diagrammes pression-température pour déterminer les conditions de formation du magma à l'origine de la croûte continentale au niveau des zones de subduction.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est exigé par l'énoncé.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau ci-après présente un exemple de démarche élaborée au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Introduction : Quels sont les modèles expliquant la formation de la croûte continentale à l'Archéen et à l'époque actuelle ? Quelle est la validité de chacun de ces deux modèles ?		
Comparer les modèles de formation de la croûte continentale	<p>Document 1. À l'époque archéenne : fusion partielle des roches hydratées de la croûte océanique plongeante entre 40 et 70 km de profondeur.</p> <p>À l'époque actuelle : fusion partielle des péridotites hydratées mantelliques situées sous la croûte continentale entre 60 et 100 km de profondeur.</p>	
Discuter de la validité des modèles	<p>Document 2. À l'Archéen, fusion partielle de la croûte océanique hydratée entre 40 et 50 km de profondeur. Actuellement, cette fusion partielle n'est plus possible.</p> <p>Document 3. Actuellement, fusion partielle des péridotites mantelliques hydratées vers 90 km de profondeur. À l'Archéen, cette fusion partielle n'a pas lieu car les péridotites restent déshydratées.</p>	<p>Le solidus correspond à la courbe de fusion commençante.</p> <p>En s'éloignant de la dorsale, la croûte océanique subit des réactions d'hydratation.</p> <p>En plongeant au niveau de la zone de subduction, la croûte océanique hydratée subit des réactions de déshydratation.</p>
Conclusion : Origine différente de la croûte continentale primitive et celle actuelle. Validation des deux modèles de formation des croûtes continentales primitive et actuelle.		

La majeure partie de la croûte continentale se forme au niveau des zones de subduction, caractérisées par le plongement d'une lithosphère océanique dans l'asthénosphère. À l'Archéen (– 4 à – 2,5 Ga), la production de la croûte continentale, dite primitive, fut intense. Quels sont les modèles expliquant la formation des croûtes continentales primitive et actuelle ? Quelle est la validité de chacun de ces deux modèles ? Pour répondre à ces problématiques, nous comparerons d'abord le modèle de formation de la croûte continentale à l'Archéen et celui de formation de la croûte continentale actuelle. Puis, nous déterminerons dans quelle mesure les conditions de fusion des roches de la croûte océanique et des péridotites mantelliques dans les zones de subduction passée et présente permettent de valider les modèles de formation de la croûte continentale.

D'après le modèle de formation de la croûte continentale à l'Archéen, les roches de la croûte océanique hydratée de la lithosphère plongeante entrent en fusion partielle à des profondeurs comprises entre 40 km et 70 km, permettant ainsi l'activité magmatique des zones de subduction (document 1). Selon le modèle actuel de formation de la croûte continentale, les péridotites hydratées du manteau situées sous la croûte continentale de la plaque chevauchante entrent en fusion partielle lorsqu'elles sont localisées entre 60 km et 100 km, entraînant la formation de la croûte continentale (document 1).

À l'Archéen, l'intersection du gradient géothermique des zones de subduction avec le solidus de la croûte océanique hydratée montre l'existence d'une zone de fusion partielle entre 45 à 55 km de profondeur. À ces profondeurs, les roches de la croûte océanique sont encore hydratées, rendant possible leur fusion partielle. Au-delà de 55 km de profondeur, la déshydratation de ces roches empêche leur fusion partielle (document 2). À l'Archéen, le gradient géothermique croise le solidus de la péridotite hydratée vers 800 °C à 60 km (document 3). On sait que l'eau responsable de l'hydratation des péridotites peut provenir de la déshydratation de la croûte océanique sous-jacente. Or, avant d'atteindre 800 °C vers 60 km, les roches de la croûte océanique étaient déjà déshydratées à l'Archéen, ne pouvant plus céder d'eau aux péridotites sus-jacentes (document 2). Ainsi, la fusion partielle de ces péridotites demeurées anhydres n'était pas possible à l'Archéen.

Dans les zones de subduction actuelles, le gradient géothermique croise le solidus des péridotites hydratées vers 90 km de profondeur à une température de 800 °C, permettant la fusion partielle de ces péridotites dans ces conditions (document 3). De plus, le gradient géothermique actuel ne croise pas le solidus de la croûte océanique hydratée dans la zone où ces roches sont hydratées (document 2). La croûte océanique actuelle ne rentre donc pas en fusion partielle car sa température est trop faible. La croûte océanique reste donc hydratée jusqu'à au moins 90 km, profondeur à laquelle elle se déshydrate. L'eau de faible densité par rapport aux roches environnantes migre vers les péridotites du manteau sus-jacent, provoquant la fusion partielle de ces péridotites, qui forment un magma à l'origine des roches magmatiques de la croûte continentale.

Ainsi, les modèles de formation des croûtes continentales primitive et actuelle au niveau des zones de subduction sont validés. La croûte continentale primitive a pour origine la fusion partielle de la croûte océanique hydratée plongeante tandis que la croûte continentale actuelle est formée à partir de la fusion partielle des péridotites hydratées du manteau. Dans les deux modèles, l'hydratation de la croûte océanique plongeante permet la fusion partielle des roches, à l'origine de l'accrétion continentale. La dissipation de l'énergie géothermique au cours des temps géologiques est à l'ori-

gine des différences constatées entre les modèles de formation des croûtes continentales primitive et actuelle.

Inde, avril 2014, partie 1

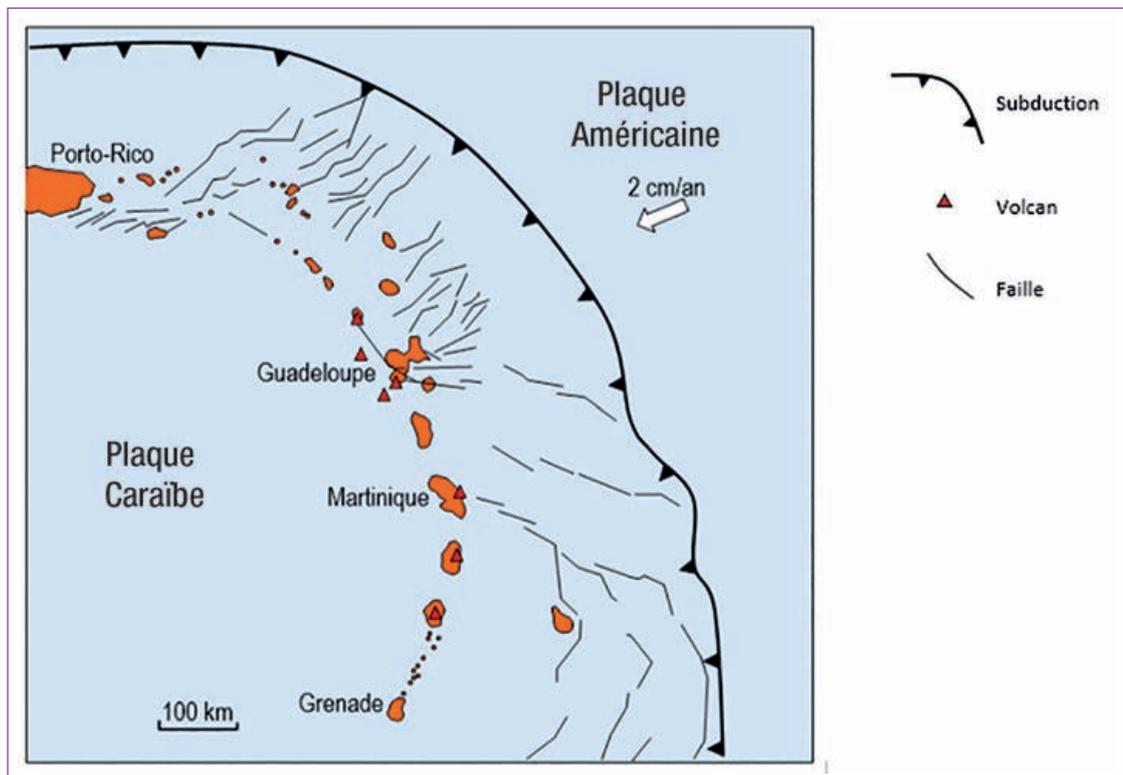
Contexte géodynamique du site de Bouillante

Bouillante est la première centrale géothermique française où l'énergie géothermique est exploitée pour produire de l'électricité.

Le site géothermique de Bouillante est situé en Guadeloupe, dans l'arc des Petites Antilles.

○ Document

Contexte géodynamique de Bouillante



Source : d'après <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id-article=2936>.

Montrer comment le contexte géodynamique régional a permis l'implantation d'une centrale géothermique à Bouillante.

Le moteur de la subduction n'est pas attendu.

L'exposé doit être structuré avec une introduction, un développement et une conclusion. Il sera accompagné d'un schéma de synthèse illustrant les phénomènes géologiques mis en jeu.

► Comprendre la question

Il s'agit d'un sujet de synthèse original, qui demande d'associer les connaissances sur la géothermie et la subduction à l'exploitation de la carte des Petites Antilles fournie en document. L'idée principale est de montrer, à partir de la carte des Petites Antilles, que le contexte géodynamique de l'île de la Guadeloupe est un contexte de subduction. Puis, il faut montrer que ce contexte de subduction est à l'origine d'un flux géothermique élevé au niveau de Bouillante, qui justifie l'implantation d'une centrale géothermique produisant de l'électricité. Attention à ne pas faire uniquement l'exploitation de la carte sans mise en relation avec les connaissances ou à faire une synthèse trop générale sur la subduction ou la géothermie. L'exposé du moteur de la subduction et le détail des transformations métamorphiques des roches de la croûte océanique lors de la subduction sont hors sujet.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

On attend une réponse structurée avec une introduction, un développement rédigé et une conclusion. Le développement doit contenir un schéma de synthèse représentant le lien entre le contexte géodynamique de la subduction et le fort potentiel géothermique de Bouillante. Ce schéma peut être une coupe de la région mettant en évidence la subduction et la localisation de la centrale géothermique.

2^e étape : élaborer un plan détaillé de la synthèse au brouillon

Le tableau ci-après présente un exemple de plan détaillé construit au brouillon.

3^e étape : structurer l'introduction et la conclusion au brouillon

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Structure de la synthèse	Éléments issus des connaissances	Exploitation de la carte présentée dans le document
Introduction : Comment expliquer que le contexte géodynamique de l'île de la Guadeloupe permette l'implantation d'une centrale géothermique à Bouillante ?		
I. Bouillante : un contexte géodynamique de subduction	Les caractéristiques d'une zone de subduction.	Mise en évidence des caractéristiques de la subduction à partir de la carte des Petites Antilles présentée dans le document.
II. Bouillante : un flux géothermique élevé	Une zone de subduction se caractérise au niveau de l'arc magmatique par un fort flux géothermique et un gradient géothermique élevé.	
III. Bouillante : une zone privilégiée pour l'exploitation géothermique	Principe d'une exploitation géothermique.	
Schéma-bilan : Bouillante : une zone privilégiée pour l'exploitation géothermique dans un contexte géodynamique de subduction.		
Conclusion		

Introduction

La géothermie est l'exploitation de l'énergie thermique interne de la Terre pour fabriquer de l'électricité, par exemple. Il s'agit d'une énergie renouvelable à l'échelle humaine et écologique. Cependant, à l'échelle mondiale, le potentiel géothermique est encore peu exploité. Dans les Petites Antilles, à Bouillante, l'île de la Guadeloupe abrite la première centrale géothermique française produisant de l'électricité. Comment expliquer que le contexte géodynamique de l'île de la Guadeloupe permette l'implantation d'une centrale géothermique à Bouillante ? À l'aide du document présentant le contexte géodynamique de la région, nous établirons d'abord que l'arc des Petites Antilles où se situe la Guadeloupe est une zone de subduction. Puis, nous mettrons en évidence l'existence d'un flux géothermique élevé au niveau de Bouillante, qui permet l'installation d'une centrale géothermique produisant de l'électricité.

I. Bouillante : un contexte géodynamique de subduction

Bouillante est située dans l'île de la Guadeloupe au niveau de l'arc des Petites Antilles. L'arc des Petites Antilles forme un arc insulaire. À l'est de cet arc insulaire se situe une limite de plaques séparant au nord-est la plaque Américaine et au sud-ouest la plaque Caraïbe. Ces deux plaques convergent l'une vers l'autre : la plaque Américaine se déplace vers la plaque Caraïbe à la vitesse de 2 cm par an. La carte présentée indique que la plaque Caraïbe est la plaque chevauchante, ce que confirme la localisation de l'arc insulaire sur cette plaque. La plaque Américaine est la plaque plongeante. Au niveau de l'arc insulaire, également appelé arc volcanique ou arc magmatique, se situent plusieurs volcans témoignant d'une activité magmatique importante. De plus, de nombreuses failles fissurent la plaque Caraïbe. Ainsi, l'ensemble de ces éléments met en évidence l'existence d'une subduction de la plaque Américaine sous la plaque Caraïbe.

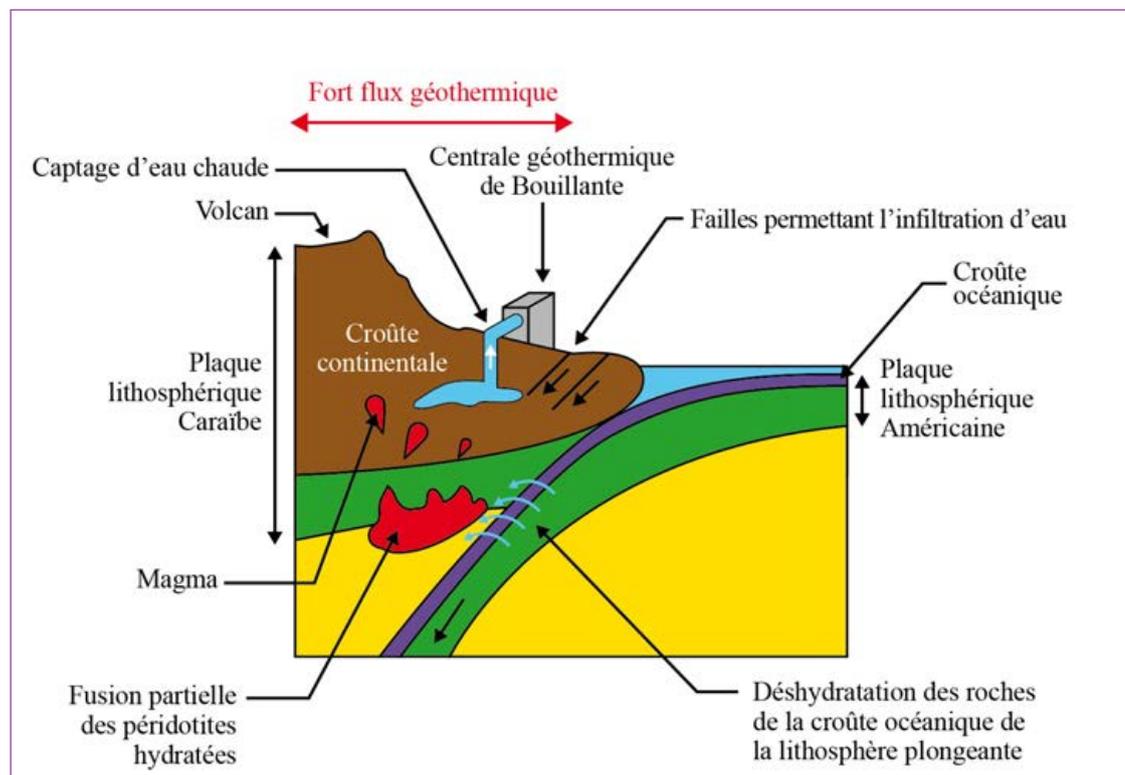
II. Bouillante : un flux géothermique élevé

Les zones de subduction, comme celle des Petites Antilles, se caractérisent par une activité magmatique intense au niveau de la plaque chevauchante, qui est à l'origine du volcanisme observé. En effet, les roches de la croûte océanique de la lithosphère plongeante, ici la plaque Américaine, subissent un métamorphisme haute pression-basse température, caractérisé par des réactions de déshydratation. L'eau libérée hydrate les péridotites du manteau situé sous la croûte continentale de la plaque chevauchante, ici la plaque Caraïbe, et permet leur fusion partielle. Le magma formé migre vers le haut dans la croûte de la plaque chevauchante, et se refroidit en formant en profondeur dans la croûte des granitoïdes et en surface des roches volcaniques observées sur les îles des Petites Antilles. Ainsi, l'arc insulaire situé sur la plaque Caraïbe est le lieu d'une activité magmatique importante dont l'origine est la remontée de matériel chaud, conséquence de la subduction de la plaque Américaine sous la plaque Caraïbe. Cet arc insulaire est donc une région caractérisée par un flux géothermique élevé, c'est-à-dire que la quantité d'énergie thermique dissipée par unité de surface terrestre et de temps à cet endroit est supérieure à la moyenne.

III. Bouillante : une zone privilégiée pour l'exploitation géothermique

L'existence d'un flux géothermique accru au niveau de Bouillante correspond à un gradient géothermique élevé : l'évolution de la température en fonction de la profondeur dans la croûte au niveau de Bouillante est supérieure au gradient géothermique moyen, qui est de 30 °C/km. Le gradient géothermique particulièrement élevé à Bouillante rend intéressant l'exploitation de cette énergie géothermique. De plus, les failles contribuent sans doute à la présence d'eau dans la croûte. Cette eau chaude profonde présente dans la croûte au niveau de Bouillante est alors récupérée pour alimenter sous forme de vapeur les turbines de la centrale géothermique de Bouillante pour produire de l'électricité.

Schéma-bilan : Bouillante : une zone privilégiée pour l'exploitation géothermique dans un contexte géodynamique de subduction



Conclusion

Ainsi, l'arc des Petites Antilles est un arc magmatique, conséquence de la subduction de la plaque Américaine sous la plaque Caraïbe. Cette subduction est à l'origine d'un flux géothermique particulièrement élevé au niveau de cet arc magmatique, qui justifie l'implantation d'une centrale géothermique produisant de l'électricité. On peut penser que le nom même du lieu, Bouillante, provient de l'existence de sources d'eau chaude naturelles, dues au fort gradient géothermique. Ainsi, Bouillante est un lieu privilégié pour l'exploitation géothermique. Les zones de subduction ne constituent pas le seul contexte géodynamique propice à l'exploitation géothermique. En

France métropolitaine, une centrale géothermique produisant de l'électricité a été construite à Soultz-sous-Forêts, car cette zone, située au niveau du fossé rhénan, est une zone d'extension présentant un potentiel géothermique intéressant.

Sujet zéro du ministère, partie 2, exercice 1

Intérêt et limites d'un OGM : le riz doré

La carence¹ en vitamine A affecte d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) entre 100 et 200 millions d'enfants. Cette carence est responsable de graves troubles oculaires, de cécité infantile et du décès de plus d'un million d'enfants chaque année. Or, les tentatives de diversification nutritionnelle ou de suppléments en vitamines atteignent difficilement toutes les personnes concernées. Des chercheurs ont donc travaillé sur l'enrichissement en vitamine A (ou en précurseurs de vitamine A) de certains aliments de base dans certains régimes alimentaires. Ils ont ainsi mis au point un riz transgénique appelé « riz doré ».

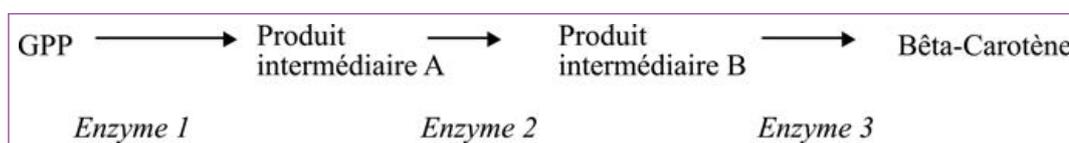
Document 1

Particularités du riz doré

Le bêta-carotène qui, une fois assimilé dans le corps humain se transforme en vitamine A, existe naturellement dans l'enveloppe du riz mais pas dans sa partie comestible c'est-à-dire l'albumen. L'enveloppe du riz étant éliminée de manière à améliorer sa conservation, les grains consommés ne contiennent plus de bêta-carotène. Par l'introduction de trois gènes dans du riz, des chercheurs allemands ont réussi à restaurer dans l'albumen une voie de biosynthèse du bêta-carotène à partir de son précurseur : le GPP. Le bêta-carotène alors synthétisé colore les grains en jaune, d'où le surnom de « riz doré ». Cependant les teneurs obtenues jusqu'à présent ne fourniraient pas aux populations démunies en vitamine A, les quantités de bêta-carotène qui leur seraient nécessaires. Mais, les effets de carences plus ou moins prononcés pourraient être sensiblement allégés. Le génome du riz doré contient trois gènes codant pour la synthèse d'enzymes impliquées dans la chaîne de biosynthèse du bêta-carotène à partir du GPP à savoir : deux gènes de jonquille qui permettent la fabrication des enzymes 1 et 2 ; un gène de bactérie qui permet la fabrication de l'enzyme 3.

Source : www.maison-des-sciences.ac-versailles.fr.

La chaîne de biosynthèse du bêta-carotène



1. Carence : apport insuffisant voire manque.

Document 2

Incertitudes scientifiques autour du riz doré

Le GPP, naturellement présent dans le riz, permet à la cellule de fabriquer un certain nombre de molécules dont la vitamine E, des chlorophylles, et de l'acide gibbérellique (substance favorisant la croissance végétale). La fraction du GPP, qui dans le riz doré sera utilisée pour fabriquer du bêta-carotène, ne sera plus disponible pour la synthèse des autres molécules dont il est également le précurseur. Autrement dit, il est probable que le riz doré, qui fabrique du bêta-carotène, fabrique moins de vitamine E, et que les rendements obtenus avec ce riz transgénique soient nettement diminués en raison d'une synthèse amoindrie de chlorophylles et d'acide gibbérellique.

Questionnaire à choix multiples

Répondre au QCM en cochant la bonne réponse.

Question 1

Le bêta-carotène contenu notamment dans le riz doré...

- permet de pallier les carences en GPP.
- empêche la synthèse de la vitamine E de l'individu qui l'ingère.
- permet de pallier à 100% les carences en vitamines A.
- se transforme en vitamine A chez la personne qui ingère le riz doré.

Question 2

Le riz doré est issu d'une transgénèse de 3 gènes codant pour la synthèse...

- de la vitamine A du riz dans le génome d'une bactérie.
- des enzymes permettant la production du bêta-carotène.
- de la vitamine A d'une jonquille dans le génome du riz.
- des enzymes activant la voie de la biosynthèse de la vitamine A.

Question 3

La fabrication du riz doré transgénique a été faite pour...

- pallier les problèmes liés à l'utilisation de pesticides.
- améliorer le rendement des rizicultures pour nourrir certaines populations humaines.
- diminuer les effets d'une carence alimentaire touchant certaines populations humaines.
- éviter l'apport massif d'engrais dans les cultures.

Question 4

D'après certains scientifiques, la modification génétique du riz aboutissant à des plants de riz doré pourrait entraîner une production...

- moindre du fait d'un rendement végétal diminué.
- accrue de vitamine E par la plante.
- de plantes plus riches en pigments chlorophylliens.
- de plantes plus résistantes aux parasites.

► Comprendre le sujet

Il s'agit de répondre aux quatre questions d'un QCM qui porte sur un organisme génétiquement modifié (ou OGM), qui est le riz doré. Le riz doré présente la caractéristique d'être particulièrement riche en bêta-carotène. Le bêta-carotène, après sa consommation par l'homme, peut être converti en vitamine A. Le riz doré permettrait donc de lutter contre les carences en vitamine A mais son utilisation présente certaines limites.

Dans le QCM, parmi les quatre réponses proposées, une seule est correcte et aucune justification n'est attendue. Aucune connaissance n'est nécessaire pour traiter le sujet. L'exercice ne présente pas de difficulté particulière : il faut surtout bien lire les documents proposés et les réponses du QCM.

Questionnaire à choix multiples

Question 1

Le bêta-carotène contenu notamment dans le riz doré : se transforme en vitamine A chez la personne qui ingère le riz doré.

Le bêta-carotène, qui se transforme en vitamine A dans le corps humain, est présent dans les grains de riz doré (document 1).

Question 2

Le riz doré est issu d'une transgénèse de 3 gènes codant pour la synthèse : des enzymes permettant la production du bêta-carotène.

Les 3 gènes contenus dans le génome du riz doré proviennent soit de la jonquille soit d'une bactérie. Chacun de ces 3 gènes code une enzyme de la chaîne de biosynthèse du bêta-carotène.

Question 3

La fabrication du riz doré transgénétique a été faite pour : diminuer les effets d'une carence alimentaire touchant certaines populations humaines.

L'objectif de l'obtention du riz doré transgénétique est la lutte contre la carence en vitamine A (introduction et document 1).

Question 4

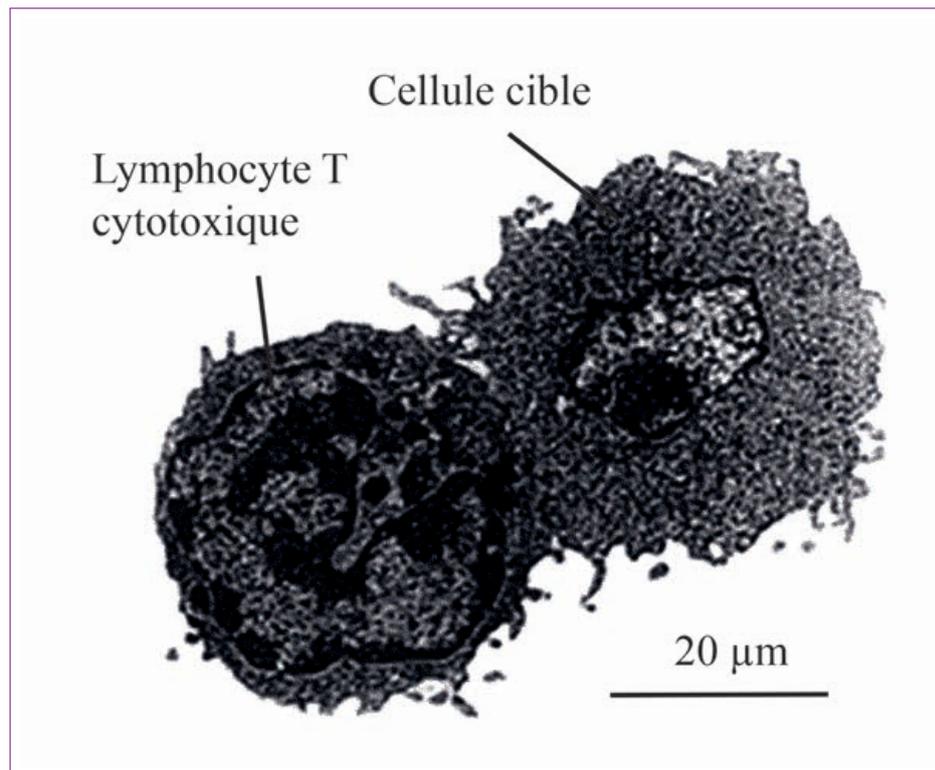
D'après certains scientifiques, la modification génétique du riz aboutissant à des plants de riz doré pourrait entraîner une production : moindre du fait d'un rendement végétal diminué.

Chez le riz doré l'utilisation accrue du GPP pour la synthèse du bêta-carotène s'accompagne d'une moindre production de chlorophylles et d'acide gibbérellique, d'où un rendement plus faible de ce riz transgénétique (document 2).

Sujet Liban, juin 2014, partie 1

Défense de l'organisme face à une infection virale

Chez un malade, des lymphocytes T cytotoxiques (LTc) sont prélevés et mis en culture avec des cellules infectées par un virus. L'image ci-dessous est alors observée.



Source : *Atlas biologie cellulaire*, Ronald et Szollosi.

Questionnaire à choix multiples

À partir de l'étude du document et de vos connaissances, cocher la bonne réponse dans chaque série de propositions du QCM.

Question 1

Le lymphocyte T cytotoxique est :

- une cellule différenciée qui intervient lors des réactions de l'immunité adaptative.
- une cellule différenciée qui intervient lors des réactions de l'immunité innée.
- une cellule indifférenciée qui intervient lors des réactions de l'immunité adaptative.
- une cellule indifférenciée qui intervient lors des réactions de l'immunité innée.

Question 2

Le lymphocyte T cytotoxique est une cellule effectrice provenant de :

- la différenciation d'un lymphocyte B.
- la différenciation d'un lymphocyte T CD4.
- la différenciation d'un lymphocyte T CD8.
- la différenciation d'un plasmocyte.

Question 3

À la suite du contact cellulaire présenté sur le document, le lymphocyte T cytotoxique détruit la cellule cible :

- en la phagocytant.
- en formant des complexes immuns.
- en libérant des molécules.
- en attirant des plasmocytes.

Question de synthèse

Les lymphocytes T cytotoxiques détruisent les cellules infectées par un virus de manière spécifique.

Expliquer comment, à la suite d'une infection virale, ces lymphocytes T cytotoxiques spécifiques apparaissent dans l'organisme.

L'exposé doit être structuré avec une introduction et une conclusion. Il sera accompagné de schéma(s).

► Comprendre la question

Le sujet présente deux parties distinctes : d'abord un QCM portant sur des éléments de connaissances sur les lymphocytes T cytotoxiques, puis une synthèse expliquant la formation des lymphocytes T cytotoxiques à la suite d'une infection virale. La synthèse est proche du cours mais elle est à bien délimiter : il s'agit de décrire les différentes étapes qui, après l'entrée d'un virus dans l'organisme, conduisent à la formation de lymphocytes T cytotoxiques capables d'éliminer spécifiquement les cellules de l'organisme infectées par ce virus. Cette formation des LT cytotoxiques nécessite l'action d'autres lymphocytes : les lymphocytes T auxiliaires, sécréteurs d'interleukines. Le détail de l'action des LT cytotoxiques, c'est-à-dire l'élimination des cellules infectées par le virus, est ici hors sujet.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

L'énoncé demande une réponse structurée, comprenant une introduction, un développement contenant un ou plusieurs schémas et une conclusion. Il est pertinent de prévoir un schéma-bilan

présentant les différentes étapes de la formation des LT cytotoxiques et précisant l'intervention des LT auxiliaires dans cette formation.

2^e étape : élaborer un plan détaillé de la synthèse au brouillon

Le tableau suivant présente un exemple de plan détaillé élaboré au brouillon.

Structure de la synthèse	Éléments issus des connaissances
Introduction : Comment, consécutivement à une infection virale, apparaissent dans l'organisme des lymphocytes T cytotoxiques spécifiques du virus ?	
I. La formation de LT cytotoxiques spécifiques du virus s'effectue en différentes étapes	Activation clonale : présentation de l'antigène viral aux LT CD8 ⁺ par des cellules présentatrices de l'antigène. Multiplication clonale des LT CD8 ⁺ . Différenciation clonale des LT CD8 ⁺ en LT cytotoxiques spécifiques de l'antigène viral.
II. La formation des LT cytotoxiques spécifiques du virus nécessite de l'interleukine 2 sécrétée par des LT auxiliaires spécifiques du virus	Activation clonale : présentation de l'antigène viral aux LT CD4 ⁺ par les cellules présentatrices de l'antigène. Multiplication clonale des LT CD4 ⁺ . Différenciation clonale des LT CD4 ⁺ en LT auxiliaires spécifiques de l'antigène viral. Sécrétion par les LT auxiliaires d'interleukine 2, indispensable à la formation des LT cytotoxiques.
Schéma-bilan : Formation de LT cytotoxiques spécifiques du virus, en présence d'interleukine 2 sécrétée par les LT auxiliaires spécifiques du même virus.	
Conclusion	

3^e étape : structurer l'introduction et la conclusion au brouillon

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Questionnaire à choix multiples

Question 1

Le lymphocyte T cytotoxique est : une cellule différenciée qui intervient lors des réactions de l'immunité adaptative.

Question 2

Le lymphocyte T cytotoxique est une cellule effectrice provenant de : la différenciation d'un lymphocyte T CD8.

Question 3

À la suite du contact cellulaire présenté sur le document, le lymphocyte T cytotoxique détruit la cellule cible : en libérant des molécules.

Question de synthèse

Introduction

À la suite d'une infection par un pathogène, l'immunité innée se caractérise par la mise en place de la réaction inflammatoire aiguë. La réaction inflammatoire aiguë est stéréotypée et n'est pas spécifique du pathogène. Cette réaction n'est pas toujours suffisamment efficace pour éliminer totalement le virus. Mais l'immunité innée prépare également la mise en place de l'immunité adaptative. La réponse immunitaire adaptative est plus longue à s'installer, mais elle est spécifique du pathogène. Ainsi, lorsqu'un virus pénètre dans l'organisme, il infecte des cellules qui assurent sa reproduction. Pour mettre fin à l'infection virale, l'immunité adaptative élimine les cellules de l'organisme infectées par le virus. Des lymphocytes T cytotoxiques spécifiques du virus apparaissent dans l'organisme et éliminent les cellules infectées par le virus. Comment, consécutivement à une infection virale, apparaissent dans l'organisme des lymphocytes T cytotoxiques spécifiques du virus ? Nous verrons les différentes étapes de la formation des LT cytotoxiques spécifiques du virus, puis, dans un second temps, nous montrerons que cette formation des LT cytotoxiques nécessite la présence d'interleukine 2 sécrétée par d'une autre population de LT, les LT auxiliaires.

I. La formation de LT cytotoxiques spécifiques du virus s'effectue en différentes étapes

Lors de la réaction inflammatoire aiguë, caractéristique de l'immunité innée, des cellules présentatrices de l'antigène, comme les cellules dendritiques, phagocytent des molécules du virus et présentent des antigènes viraux au sein de leur CMH (complexe majeur d'histocompatibilité). Ces cellules présentatrices de l'antigène migrent des tissus où elles ont rencontré le virus vers les

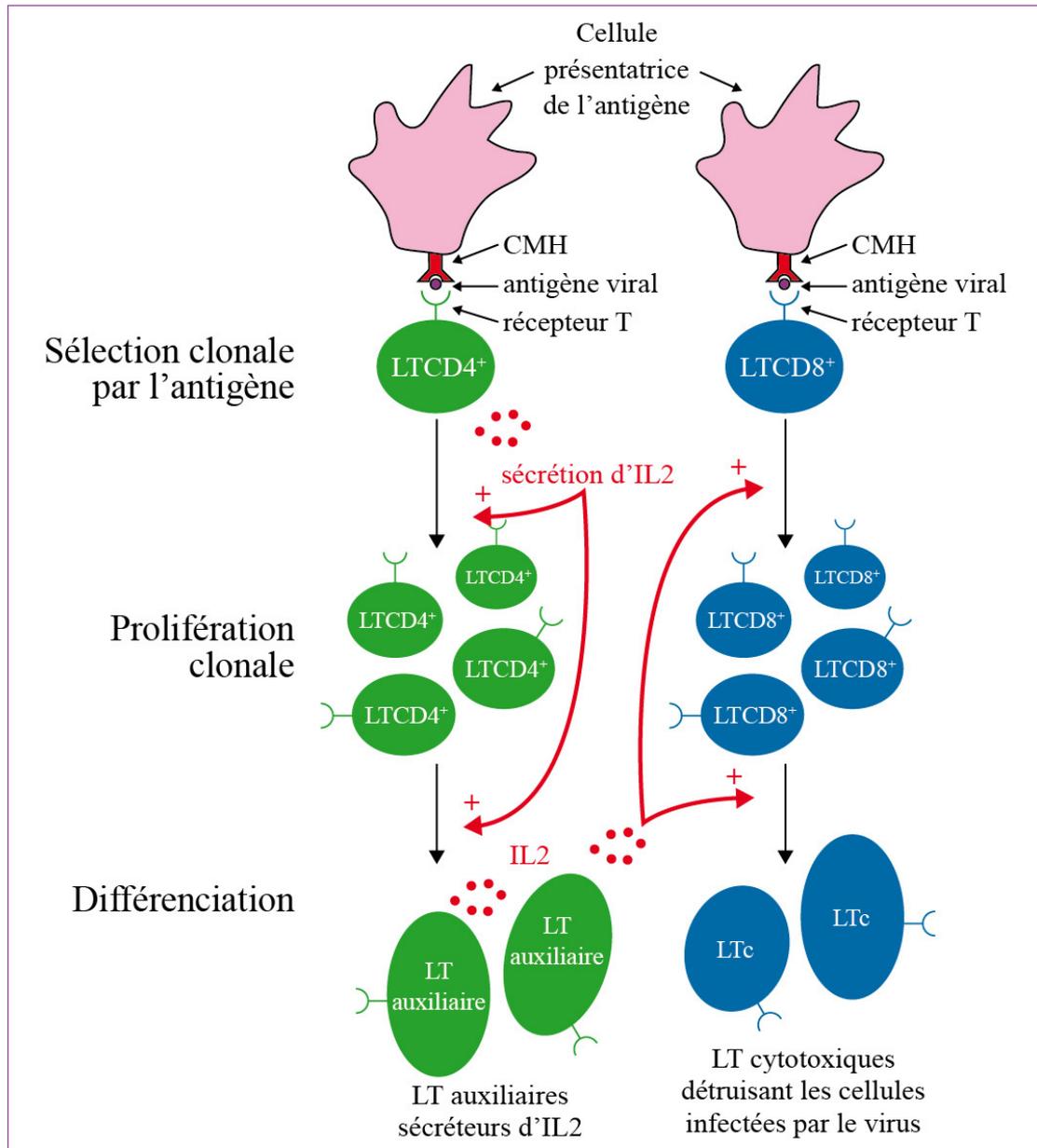
organes lymphoïdes, où se trouvent les lymphocytes T CD8⁺ (ou LT CD8⁺). Les différents clones de LT CD8⁺ présentent un même récepteur membranaire CD8 et des récepteurs membranaires T (ou TCR), variables selon les clones. Chaque récepteur T n'est capable de reconnaître qu'un seul antigène et un très grand nombre de récepteurs T différents existent. L'ensemble des récepteurs T est capable de reconnaître l'ensemble des antigènes existant.

Ainsi, lorsqu'un virus est présent dans l'organisme, les peptides antigéniques viraux présentés par les cellules présentatrices de l'antigène sont reconnus par un récepteur T spécifique. Cette étape de sélection clonale consiste en l'activation d'un clone de LT CD8⁺ dont le récepteur T est spécifique de l'antigène viral. Les LT CD8⁺ ainsi activés se multiplient puis se différencient en cellules effectrices : les LT cytotoxiques. Cependant, l'étude de l'infection par le VIH (virus de l'immunodéficience humaine) montre que la destruction par le VIH d'une autre population de lymphocytes, les LT auxiliaires, rend inefficace l'immunité adaptative à médiation cellulaire faisant appel aux LT cytotoxiques. En effet, la formation des LT cytotoxiques spécifiques d'un virus donné nécessite la présence des LT auxiliaires.

II. La formation des LT cytotoxiques spécifiques du virus nécessite de l'interleukine 2

Lorsqu'un virus pénètre dans l'organisme, des cellules présentatrices de l'antigène présentent l'antigène viral à une autre population de lymphocytes : les lymphocytes T CD4⁺ (LT CD4⁺). Sur leur membrane plasmique, les LT CD4⁺ portent un récepteur CD4 et des récepteurs T (ou TCR). Chaque clone de LT CD4⁺ diffère par son récepteur T spécifique d'un antigène donné. La présentation de l'antigène viral par les cellules présentatrices de l'antigène permet la sélection des LT CD4⁺ spécifiques de l'antigène. Les LT CD4⁺ ainsi activés se multiplient puis se différencient en LT auxiliaires. Les LT CD4⁺ activés sécrètent de l'interleukine 2, une molécule capable de stimuler la multiplication et la différenciation de ces mêmes LT CD4⁺. L'interleukine 2 est également capable d'activer la multiplication des LT CD8⁺ et la différenciation de ces LT CD8⁺ en LT cytotoxiques, à condition que ces LT CD8⁺ et les LT CD4⁺ sécrétant l'interleukine 2 présentent la même spécificité pour l'antigène, c'est-à-dire qu'ils possèdent le même récepteur T activé par le même antigène viral. Les LT cytotoxiques ainsi formés sont capables de reconnaître spécifiquement les cellules de l'organisme infectées par le virus et de sécréter des molécules entraînant la destruction de ces cellules infectées, éliminant ainsi le virus de l'organisme.

Schéma-bilan : Formation de LT cytotoxiques spécifiques du virus, en présence d'interleukine 2 sécrétée par les LT auxiliaires spécifiques du même virus



Conclusion

Ainsi, à la suite d'une infection virale, à partir de différents clones de LT CD8⁺ et de LT CD4⁺, des clones de LT CD8⁺ et de LT CD4⁺ spécifiques d'un même antigène viral sont activés. Les LT CD4⁺ prolifèrent et se différencient en LT auxiliaires sécréteurs d'interleukine 2. L'interleukine 2 stimule la multiplication et la différenciation des LT CD4⁺ en LT auxiliaires et des LT CD8⁺ en LT cytotoxiques. La coopération cellulaire entre les LT CD4⁺ et LT CD8⁺ permet la production d'un grand nombre de cellules effectrices : les LT cytotoxiques capables de détruire les cellules

infectées par le virus. Consécutivement à la première rencontre avec un virus donné, la production des LT cytotoxiques constitue une réponse immunitaire primaire : elle est spécifique de l'antigène viral mais lente à s'installer et quantitativement peu importante. Elle s'accompagne de la mise en place d'une mémoire immunitaire. Ainsi, lors de rencontres ultérieures avec le même antigène, la réponse immunitaire secondaire sera beaucoup plus rapide et plus importante. La vaccination vise à reproduire artificiellement cette première rencontre avec l'antigène, permettant la mise en place de la mémoire immunitaire. L'individu vacciné produit une réponse immunitaire secondaire efficace s'il rencontre l'antigène lors d'une infection ultérieure, lui évitant ainsi de développer la maladie.

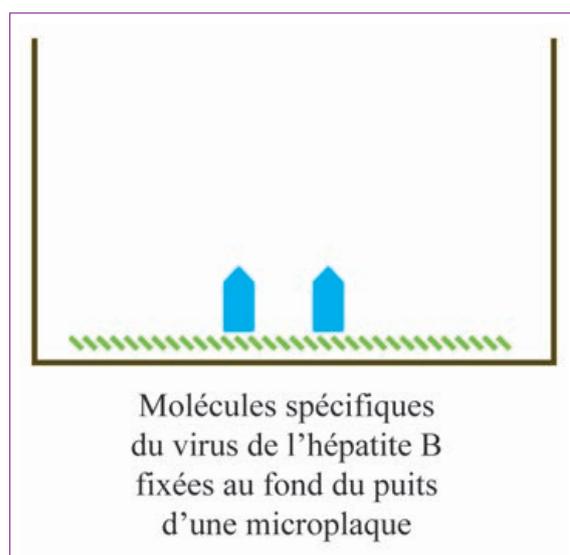
*Asie, juin 2013, partie 2, exercice 1***Test ELISA de détection de l'hépatite B**

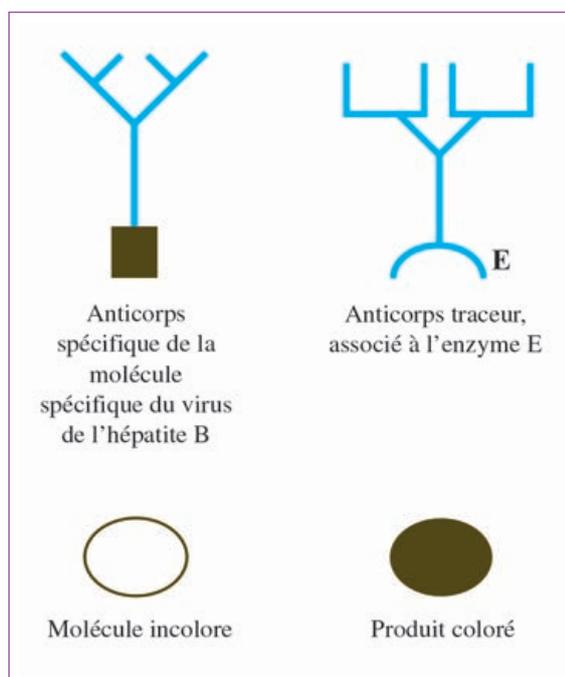
L'ESF (Établissement du sang français) cherche à savoir si le sang d'un donneur peut être utilisé pour une transfusion. Pour éviter une éventuelle contagion, on recherche entre autres si cet individu a été récemment en contact avec le virus de l'hépatite B. Pour cela, on cherche à identifier les anticorps spécifiques que l'organisme aurait pu produire en réponse à une infection, en réalisant un test ELISA.

Réalisez le schéma d'interprétation des résultats des puits 1 et 2 en utilisant les symboles proposés dans le document 1, puis dites si l'ESF peut utiliser le sang du donneur en justifiant votre préconisation.

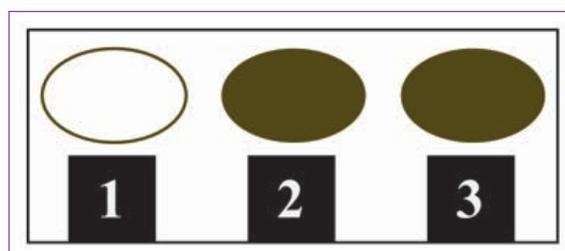
○ Document 1

Le test ELISA (*Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay*) est un test immunologique destiné à détecter et/ ou doser les anticorps dans un liquide biologique. Dans cette technique de dosage, les puits d'une microplaque sont tapissés avec une molécule spécifique du virus de l'hépatite B. La solution à tester est ensuite déposée dans les puits de la microplaque et si l'anticorps recherché est présent il va se lier à la molécule spécifique du virus. Un premier lavage est réalisé. Un deuxième anticorps, l'anticorps traceur, capable de se lier à l'anticorps recherché, est alors ajouté dans les puits. Un deuxième lavage permet d'éliminer les anticorps traceurs non fixés. L'anticorps traceur est couplé à une enzyme. On ajoute enfin une molécule incolore qui conduit à la formation d'un produit coloré si l'enzyme est présente.





Document 2

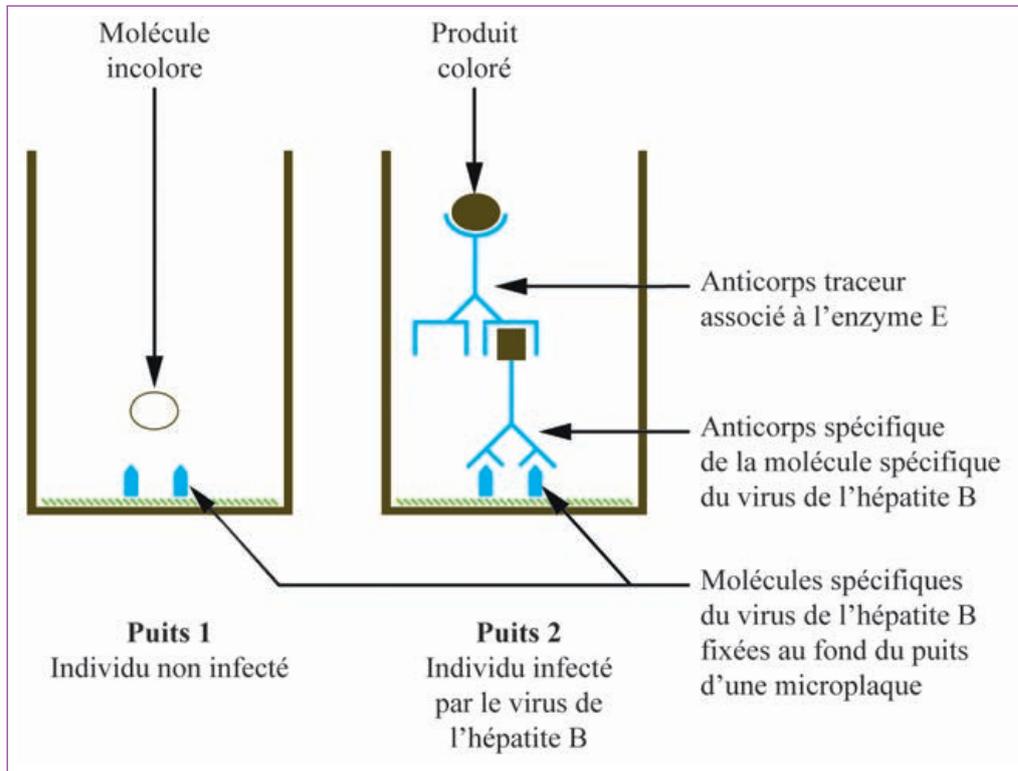


1. Puits incolore correspondant au test du sang d'un individu non infecté
2. Puits coloré correspondant au test du sang d'un individu infecté par le virus de l'hépatite B
3. Puits coloré correspondant au test du sang de l'individu donneur à tester

► Comprendre la question

Le sujet porte sur le test de détection dans le sang de différents individus d'anticorps dirigés contre le virus de l'hépatite B. Le test utilisé est un test immunologique de type ELISA. Dans un premier temps, il s'agit de schématiser les interactions moléculaires qui ont lieu dans le puits 1 de la plaque ELISA contenant le sang d'un individu non infecté et celles qui ont lieu dans le puits 2 de la plaque ELISA contenant le sang d'un individu infecté par le virus de l'hépatite B. Dans un second temps, il faut décider si le donneur, dont le sang est testé dans le puits 3, peut donner ou non son sang en justifiant la réponse. Les principales difficultés de l'exercice résident dans la compréhension du principe du test ELISA et la schématisation correcte des interactions moléculaires. Aucun texte justifiant ces interactions n'est demandé par l'énoncé.

Schéma d'interprétation des résultats des puits 1 et 2 du test ELISA pour la détection de l'infection par le virus de l'hépatite B



Le puits 3, correspondant au test du sang de l'individu donneur, montre la présence d'un produit coloré, comme dans le puits 2. L'individu donneur possède donc des anticorps dirigés contre le virus de l'hépatite B. On en déduit que l'individu donneur est infecté par le virus de l'hépatite B. La présence du virus de l'hépatite B chez cet individu empêche l'ESF d'utiliser ce sang pour le donner à des patients car l'individu donneur risque de transmettre le virus de l'hépatite B.

Inde, avril 2014, partie 2, exercice 1

Expériences historiques de Sherrington 1924

En 1924, le physiologiste britannique Charles Scott Sherrington a réalisé une série d'expériences pour comprendre les mécanismes de rétractation de la patte chez le chat. La modélisation suivante permet de reproduire de façon fidèle mais virtuelle les expériences historiques qui ont permis à Sherrington de mettre en évidence le réflexe myotatique.

On cherche à comprendre, par cette modélisation, comment le réflexe myotatique a pu être mis en évidence par Sherrington.

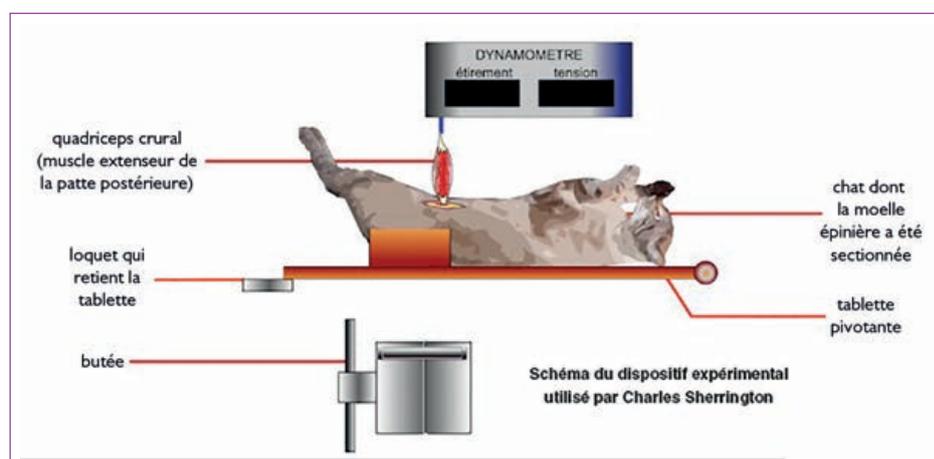
○ Document

Dans l'expérience ci-dessous, on modélise comment Sherrington avait sectionné l'arrière de l'encéphale d'un chat anesthésié, libérant ainsi sa moelle épinière (animal décérébré), puis avait allongé l'animal sur une planche qu'il pouvait déplacer du haut vers le bas.

La modélisation consiste ensuite à isoler le muscle extenseur (quadriceps crural) du membre postérieur, à le rattacher par son tendon inférieur à un dynamomètre. Ce système fixe permet de mesurer l'étirement subi et la tension développée par le muscle en réponse à cet étirement.

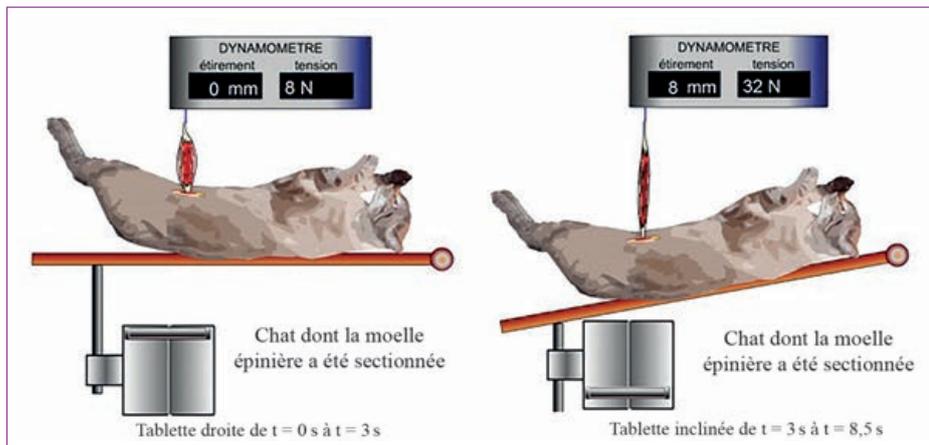
Dans ces conditions, et bien que l'animal soit décérébré, le muscle conserve son innervation. On modélise ensuite le déplacement vers le bas de la planche sur laquelle l'animal est allongé.

Protocole expérimental modélisé



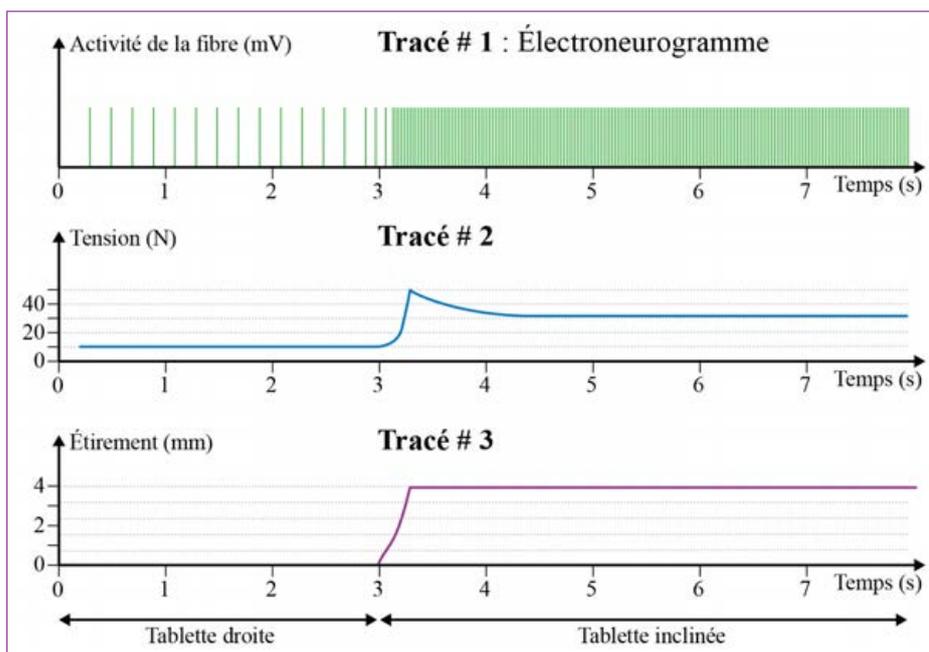
Dans cette adaptation contemporaine et virtuelle de l'expérience de Sherrington, il a été prévu de simuler l'ajout de microélectrodes sur une fibre nerveuse sensorielle qui innerve le muscle extenseur de la patte postérieure du chat.

Sujet 18 | Énoncé



Dans cette animation, la planche sur laquelle l'animal est allongé est virtuellement basculée vers le bas 3 secondes après le début de l'enregistrement et jusqu'à 8,5 secondes.

Enregistrement des résultats de l'ensemble de l'expérience



Source : d'après Philippe Cosentino, www.ac-nice.fr/svt/productions.

Le tracé n° 1 permet de suivre l'activité de la fibre nerveuse sensorielle durant l'expérience.

Le tracé n° 2 présente la tension mesurée par le dynamomètre durant l'expérience.

Le tracé n° 3 montre l'évolution de l'étirement du muscle durant l'expérience.

Questionnaire à choix multiples

À partir de l'étude du document, cocher la bonne réponse dans chaque série de propositions du QCM pour comprendre ce qu'est un réflexe myotatique.

Question 1

Lorsque Sherrington incline vers le bas la planche sur laquelle l'animal est allongé, la réponse musculaire de la patte du chat montre que le muscle extenseur :

- se relâche.
- se contracte.
- se relâche puis se contracte.
- ni ne se relâche ni ne se contracte.

Question 2

En inclinant vers le bas la planche sur laquelle l'animal décérébré est allongé, Sherrington :

- met en évidence qu'un muscle réagit de façon involontaire à son propre étirement.
- montre que la commande volontaire permet à un muscle de réagir à son propre étirement.
- met en évidence qu'un réflexe myotatique nécessite l'intervention du cerveau.
- met en évidence qu'un réflexe myotatique se réalise indépendamment de l'intervention d'un centre nerveux.

Question 3

L'électroneurogramme (tracé 1) montre que lors de l'étirement du muscle :

- la fréquence des potentiels d'action augmente.
- l'amplitude des potentiels d'action augmente.
- la fréquence et l'amplitude des potentiels d'action augmentent.
- la fréquence et l'amplitude des potentiels d'action augmentent puis diminuent.

Question 4

Ainsi, lorsque Sherrington incline vers le bas la planche sur laquelle l'animal est allongé, l'électroneurogramme permet de montrer que :

- l'amplitude des potentiels d'action permet de coder le message nerveux moteur.
- la fréquence des potentiels d'action permet de coder le message nerveux moteur.
- l'amplitude des potentiels d'action permet de coder le message nerveux sensoriel.
- la fréquence des potentiels d'action permet de coder le message nerveux sensoriel.

► Comprendre la question

Il s'agit d'un QCM portant sur l'exploitation des expériences de Sherrington, simulées par un logiciel disponible sur internet (www.ac-nice.fr/svt/productions, logiciel Sherrington). L'expérience historique de Sherrington, complétée par la mesure de l'activité de la fibre nerveuse sensorielle, permet de mettre en évidence le réflexe myotatique et d'en étudier les caractéristiques. La notion essentielle à connaître pour traiter cet exercice est la suivante : lors du réflexe myotatique, l'étirement du muscle, dû ici à l'inclinaison de la tablette, génère l'envoi d'un message nerveux sensoriel à la moelle épinière. Au niveau de la moelle épinière, centre nerveux des réflexes, se forme un message nerveux moteur véhiculé jusqu'au muscle et qui entraîne sa contraction. Aucune justification n'est attendue.

Questionnaire à choix multiples

Question 1

Lorsque Sherrington incline vers le bas la planche sur laquelle l'animal est allongé, la réponse musculaire de la patte du chat montre que le muscle extenseur : se contracte.

Dans l'expérience, l'augmentation de la tension mesurée par le dynamomètre lorsque la tablette est inclinée montre que la réponse musculaire à l'étirement du muscle est la contraction de ce muscle.

Question 2

En inclinant vers le bas la planche sur laquelle l'animal décérébré est allongé, Sherrington : met en évidence qu'un muscle réagit de façon involontaire à son propre étirement.

La présence d'un réflexe chez un animal dont l'arrière de l'encéphale est sectionné montre que la commande de ce réflexe est involontaire et ne fait pas intervenir le cerveau, mais nécessite la moelle épinière comme centre nerveux.

Question 3

L'électroneurogramme (tracé 1) montre que lors de l'étirement du muscle : la fréquence des potentiels d'action augmente.

L'étude de l'électroneurogramme (tracé 1) met en évidence que l'étirement du muscle correspond à l'augmentation de la fréquence des potentiels d'action.

Question 4

Ainsi lorsque Sherrington incline vers le bas la planche sur laquelle l'animal est allongé, l'électroneurogramme permet de montrer que : la fréquence des potentiels d'action permet de coder le message nerveux sensoriel.

Le document précise que les microélectrodes sont ajoutées sur une fibre nerveuse sensorielle innervant le muscle étudié et permettent donc d'étudier le message nerveux sensoriel.

Sujet national, juin 2014, partie 2, exercice 2

Anxiété : symptômes musculaires et traitement

L'anxiété chronique peut s'accompagner de contractions musculaires brusques et inopinées des muscles squelettiques. Ces contractions musculaires peuvent être soignées par des médicaments antidépresseurs comme les benzodiazépines.

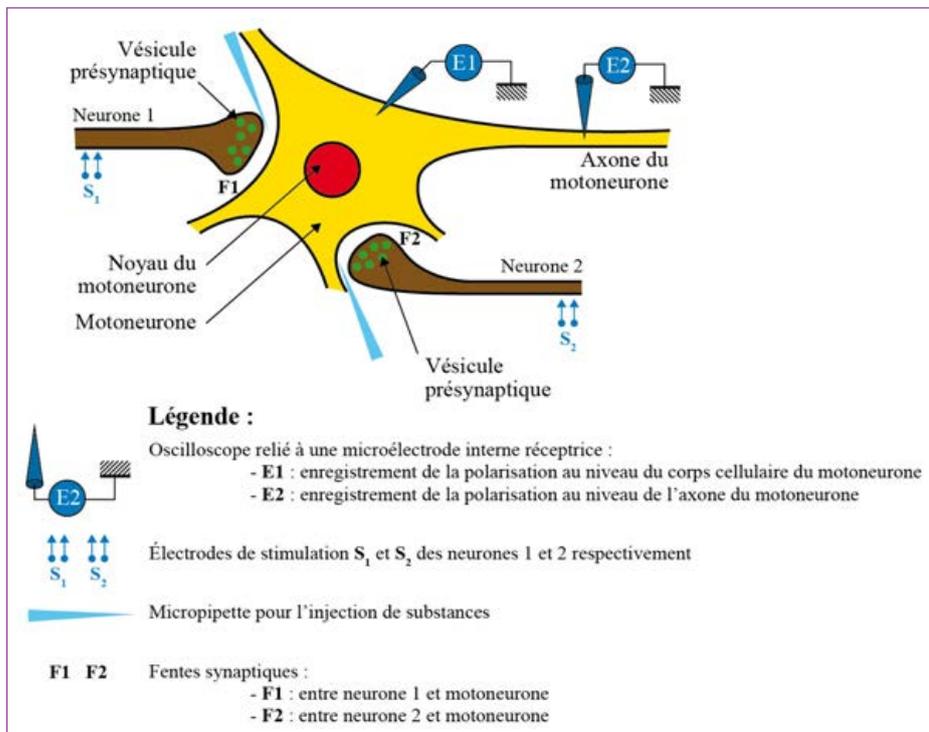
À partir de l'exploitation des documents et de l'utilisation des connaissances, expliquer l'apparition des symptômes musculaires dus à l'anxiété et leur traitement par les benzodiazépines.

Aucune connaissance préalable sur les synapses étudiées ici n'est nécessaire.

L'exploitation du document de référence n'est pas attendue.

○ Document de référence

Montage expérimental et localisation des expériences menées sur un motoneurone de moelle épinière de mammifère

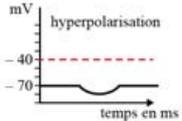
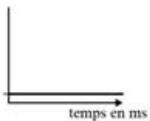
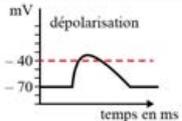
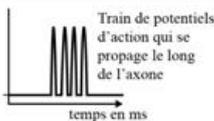
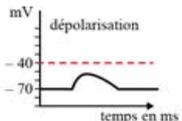
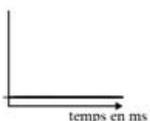


Source : d'après <http://www.didier-pol.net/>.

Document 1

Résultats expérimentaux d'une stimulation au niveau de S1, de S2 et d'une stimulation simultanée de S1 et S2 chez les mammifères

Les motoneurones qui commandent des cellules musculaires des muscles squelettiques sont soumis à des informations diverses qu'ils intègrent sous la forme d'un message nerveux unique. Chaque information reçue par le motoneurone perturbe son potentiel de repos ; si cette perturbation atteint un certain seuil, des potentiels d'action se déclenchent. En période de crise d'anxiété, les informations que les motoneurones intègrent sont modifiées.

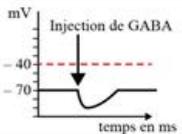
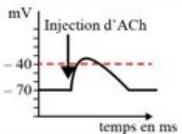
Opérations effectuées	Enregistrements en E1	Enregistrements en E2	Contraction de la fibre musculaire (+ : présence ; - : absence)
Stimulation en S1			-
Stimulation en S2			+
Stimulation en S1 et S2 simultanément			-

--- Seuil de dépolarisation nécessaire au déclenchement d'un potentiel d'action dans le motoneurone

Source : d'après <http://www.didier-pol.net/>.

Document 2

Effet sur le motoneurone de mammifère d'une injection de GABA ou d'acétylcholine en l'absence de toute stimulation électrique

Opérations effectuées	Injection de GABA au niveau de F1	Injection d'acétylcholine (ACh) au niveau de F2
Enregistrements en E1		

--- Seuil de dépolarisation nécessaire au déclenchement d'un potentiel d'action dans le motoneurone

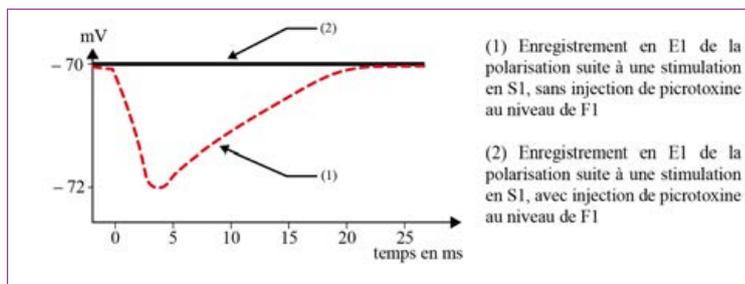
Source : d'après <http://www.didier-pol.net/>.

○ Document 3

Reproduction expérimentale des signes de l'anxiété chez les mammifères

On peut reproduire expérimentalement la situation des synapses associée à l'anxiété. Pour cela on injecte de la picrotoxine dans la fente synaptique F1.

La picrotoxine est capable de se fixer sur les récepteurs membranaires au neurotransmetteur GABA situés sur le motoneurone.



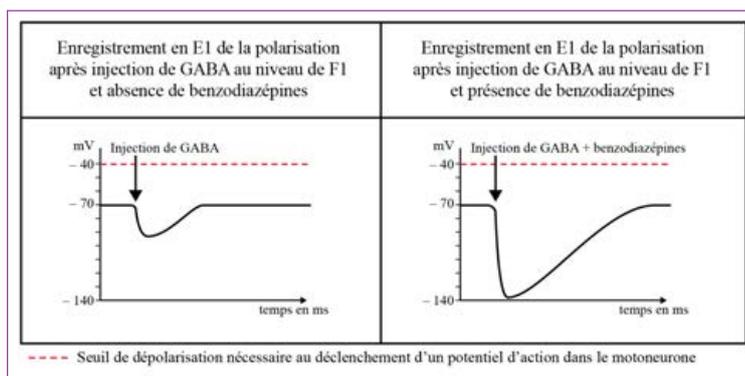
Source : d'après www.etudiant-podologie.fr.

○ Document 4

Action des benzodiazépines chez les mammifères

De nombreuses substances utilisées en médecine comme médicaments se lient spécifiquement aux récepteurs membranaires.

Les benzodiazépines (comme le Valium® et le Librium®) sont des tranquillisants (utilisés contre l'anxiété) qui se fixent de manière spécifique aux récepteurs membranaires du GABA.



Source : d'après Jean-Claude Orsini, Jean Pellet, *Introduction biologique à la psychologie*, Bréal.

► Comprendre la question

Il s'agit de comprendre l'origine des contractions musculaires involontaires en cas d'anxiété chronique et d'expliquer comment les benzodiazépines permettent de lutter contre ces contractions. Pour répondre à ces questions, l'énoncé propose l'étude d'un montage expérimental présenté dans le document de référence. Le montage expérimental permet l'enregistrement de l'activité du motoneurone en contact avec deux neurones pré-synaptiques. Les variations du potentiel de membrane du motoneurone sont enregistrées dans différentes conditions : stimulations électriques des neurones pré-synaptiques, injection dans les fentes synaptiques de neuromédiateurs et de picrotoxine mimant l'effet de l'anxiété, ou encore présence de benzodiazépines. Les expériences sont à analyser soigneusement, en mentionnant les valeurs des potentiels membranaires enregistrés. Chaque expérience conduit à une conclusion mettant en évidence un aspect du contrôle de l'activité du motoneurone. L'énoncé précise que la réponse attendue se structure en 2 parties. La première partie correspond, à partir de l'étude de l'activité du motoneurone, à l'explication de l'origine des contractions musculaires involontaires liées à l'anxiété. La seconde partie vise à expliquer l'action des benzodiazépines, qui traitent les contractions musculaires dues l'anxiété. Le document de référence n'est pas à analyser en lui-même mais il est nécessaire pour exploiter les expériences des documents 1 à 4. Comme l'indique l'énoncé, aucune connaissance sur les synapses n'est requise pour traiter le sujet car les informations peuvent être déduites des documents. Certaines connaissances sont cependant rappelées dans le corrigé proposé. Cet exercice est assez difficile car l'analyse des documents est longue et doit être menée avec rigueur.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau ci-après présente un exemple de démarche construite au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Introduction : Comment expliquer l'apparition de brusques contractions musculaires en cas d'anxiété chronique et comment justifier que les benzodiazépines permettent de les traiter ?		
<p>Comment expliquer l'apparition de brusques contractions musculaires en cas d'anxiété chronique ?</p>	<p>Doc. 1 et de réf. Stimulation en S1 : hyperpolarisation, absence de potentiels d'action dans le motoneurone et de contraction musculaire. S1 est donc une synapse inhibitrice. Stimulation en S2 : dépolarisation, présence de potentiels d'action dans le motoneurone et d'une contraction musculaire. S2 est donc une synapse excitatrice. Stimulation en S1 et S2 : faible dépolarisation, absence de potentiels d'action dans le motoneurone et de contraction musculaire. Intégration nerveuse du motoneurone. Doc. 2 et de réf. Injection de GABA en F1 : hyperpolarisation. Le GABA est donc un neurotransmetteur inhibiteur. Injection d'acétylcholine en F1 : dépolarisation. L'acétylcholine est donc un neurotransmetteur excitateur. Doc. 3 et de réf. Stimulation en S1 sans picrotoxine : hyperpolarisation. Stimulation en S1 avec picrotoxine : absence de modification du potentiel membranaire du motoneurone. L'anxiété entraîne une levée de l'inhibition du motoneurone, d'où les contractions musculaires.</p>	<p>Le motoneurone commande la contraction musculaire. Il conduit un message nerveux codé en fréquence de potentiel d'actions. La synapse est la zone de contact entre deux neurones. À l'arrivée d'un message nerveux dans le neurone pré-synaptique, celui-ci libère des neurotransmetteurs dans la fente synaptique qui se fixent sur des récepteurs spécifiques de la membrane plasmique du neurone post-synaptique, déclenchant un message nerveux. Le motoneurone intègre les informations nerveuses qu'il reçoit de différents neurones en un message nerveux unique.</p>

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Comment justifier que les benzodiazépines permettent de traiter les contractions musculaires liées à l'anxiété chronique ?	Document 4 et document de référence. Injection de GABA en F1 en absence de benzodiazépines : faible hyperpolarisation. Injection de GABA en F1 en présence de benzodiazépines : forte hyperpolarisation. Les benzodiazépines rétablissent l'effet inhibiteur sur le motoneurone et limite ainsi l'effet d'anxiété.	
Conclusion		

L'anxiété chronique peut s'accompagner de contractions musculaires brusques et inattendues. Ces contractions musculaires disparaissent lors de traitement à base de médicaments anxiolytiques comme les benzodiazépines. Comment expliquer l'apparition de ces brusques contractions musculaires inopinées en cas d'anxiété chronique et comment justifier que les benzodiazépines permettent de traiter ces contractions musculaires liées à l'anxiété ? Pour comprendre l'origine de ces contractions musculaires liées à l'anxiété, nous analyserons les résultats d'expériences de simulations au niveau des synapses localisées sur le corps cellulaire d'un motoneurone innervant une fibre musculaire, puis nous caractériserons l'effet de benzodiazépines sur l'activité de ce motoneurone.

La commande des muscles squelettiques s'effectue par des motoneurones, dont les corps cellulaires sont situés dans la substance grise de la moelle épinière. La synapse est la zone de contact entre le corps cellulaire des motoneurones et les boutons synaptiques des neurones pré-synaptiques. Pour caractériser le contrôle de l'activité du motoneurone, le montage expérimental suivant est effectué au niveau d'un motoneurone de la moelle épinière relié à une fibre musculaire : le corps cellulaire d'un motoneurone est en contact synaptique avec les extrémités de deux neurones pré-synaptiques : les neurones 1 et 2 (document de référence).

En absence d'anxiété chronique, la stimulation au niveau de l'électrode S1, située sur le neurone 1, est responsable d'une faible hyperpolarisation du motoneurone enregistrée en E1 au niveau du corps cellulaire du motoneurone : le potentiel membranaire du motoneurone passe de -70 mV à -80 mV puis revient à sa valeur initiale en quelques ms (document 1). L'électrode réceptrice E2, située dans l'axone du motoneurone, n'enregistre aucune modification de la valeur du potentiel membranaire et la fibre musculaire reliée au motoneurone ne se contracte pas. Ainsi, la stimulation en S1 du neurone 1 entraîne une faible hyperpolarisation enregistrée dans le motoneurone, mais qui n'atteint pas le seuil de dépolarisation (-40 mV) nécessaire au déclenchement du potentiel d'action dans le motoneurone. Aucun potentiel d'action n'est enregistré en E2 dans l'axone du motoneurone, d'où l'absence de contraction de la fibre musculaire. La synapse entre le neurone 1 et le motoneurone est donc une synapse inhibitrice.

La stimulation au niveau de l'électrode S2, située sur le neurone 2, entraîne une dépolarisation du motoneurone enregistrée en E1 et un train de potentiels d'action enregistré par E2 dans l'axone du motoneurone. Ce train de potentiels d'action se propage dans le motoneurone et déclenche la contraction musculaire. La dépolarisation enregistrée en E1 fait passer le potentiel membranaire de -70 mV à -30 mV, dépassant le seuil de dépolarisation (-40 mV) nécessaire au déclenchement du potentiel d'action dans le motoneurone. La synapse entre le neurone 2 et le motoneurone est donc une synapse excitatrice.

La stimulation simultanée des électrodes S1 (neurone 1) et S2 (neurone 2) entraîne une faible dépolarisation enregistrée en E1 : le potentiel de membrane passe de -70 mV à -60 mV puis revient à sa valeur initiale. En E2, aucun potentiel d'action n'est enregistré et la fibre musculaire reliée au motoneurone ne se contracte pas. Ainsi, le corps cellulaire du motoneurone a intégré les informations nerveuses reçues au même moment des neurones 1 et 2. Cette opération d'intégration du motoneurone est une sommation spatiale. Le résultat de cette intégration nerveuse est une faible dépolarisation au niveau du corps cellulaire du motoneurone (-60 mV), inférieure au seuil

de dépolarisation (-40 mV) de déclenchement du potentiel d'action dans le motoneurone. En absence de potentiels d'action dans le motoneurone, la fibre musculaire ne se contracte pas. Ainsi, en absence d'anxiété, l'inhibition du motoneurone par le neurone 1 l'emporte sur son activation par le neurone 2, d'où l'absence de potentiels d'action dans le motoneurone et donc de contractions musculaires.

En utilisant le même montage expérimental, on cherche à caractériser l'effet de l'injection de deux neurotransmetteurs : le GABA et l'acétylcholine sur la transmission synaptique au niveau du corps cellulaire du motoneurone en l'absence de toute stimulation électrique (document 2). L'injection de GABA au niveau de F1, fente synaptique entre le neurone 1 et le motoneurone, entraîne en E1 une diminution du potentiel membranaire, qui passe de -70 mV à -90 mV puis revient à sa valeur initiale. Cette hyperpolarisation ne permet pas au potentiel membranaire de dépasser la valeur seuil de déclenchement du potentiel d'action. L'hyperpolarisation observée et l'absence de potentiels d'action qu'elle entraîne dans le motoneurone permettent de conclure que le GABA est un neurotransmetteur inhibiteur. On peut alors supposer que le GABA est le neurotransmetteur inhibiteur de la synapse entre le neurone 1 et le motoneurone. L'injection de l'acétylcholine au niveau de F2, fente synaptique entre le neurone 2 et le motoneurone, entraîne en E1 une augmentation du potentiel membranaire, qui passe de -70 mV à -30 mV puis revient à sa valeur initiale (document 2). Cette dépolarisation permet au potentiel de membrane de dépasser la valeur seuil de déclenchement du potentiel d'action (-40 mV). La dépolarisation observée et la propagation de potentiels d'action qu'elle entraîne dans le motoneurone permettent de conclure que l'acétylcholine est un neurotransmetteur excitateur. On peut également supposer que l'acétylcholine est le neurotransmetteur excitateur de la synapse entre le neurone 2 et le motoneurone.

En utilisant le même montage expérimental, on cherche maintenant à caractériser le mécanisme de l'anxiété au niveau du corps cellulaire du motoneurone (document 3). Pour cela, on utilise une molécule appelée la picrotoxine, qui permet de reproduire les effets de l'anxiété au niveau du motoneurone. En l'absence de picrotoxine en F1, la stimulation en S1 entraîne une hyperpolarisation de la membrane du motoneurone enregistrée par E1, qui passe de -70 mV à -72 mV. En effet, la synapse impliquée est inhibitrice et se caractérise par l'action d'un neurotransmetteur inhibiteur : le GABA. En présence de picrotoxine en F1, la stimulation en S1 n'entraîne aucune modification du potentiel membranaire du motoneurone, qui reste égal au potentiel de repos (-70 mV). Ainsi, la picrotoxine annihile l'effet de la stimulation en S1 sur la polarisation membranaire du motoneurone. Or, on sait que la picrotoxine est une molécule capable de se fixer sur les récepteurs membranaires du GABA situés sur le motoneurone. La fixation de la picrotoxine empêche donc le GABA libéré dans la fente synaptique d'agir. Ainsi, la picrotoxine inhibe l'action du neurotransmetteur inhibiteur. Le motoneurone ne reçoit donc plus de message nerveux inhibiteur du neurone 1 mais reçoit seulement le message excitateur du neurone 2. La fixation de l'acétylcholine sur ses récepteurs du motoneurone entraîne une dépolarisation suffisante pour déclencher la propagation des potentiels d'action, d'où la contraction musculaire. Ainsi l'anxiété, comme la picrotoxine, est responsable d'une inhibition de la synapse inhibitrice au contact du motoneurone et entraîne la propagation du message nerveux dans le motoneurone générant la contraction musculaire. Comment expliquer l'effet des benzodiazépines qui permettent de faire disparaître ces contractions musculaires en cas d'anxiété ?

En absence de benzodiazépines et en présence de GABA injecté en F1, la stimulation en S1 entraîne une hyperpolarisation (de -70 mV à -95 mV) de la membrane du motoneurone enregistrée par E1 (document 4). En présence de benzodiazépines et de GABA injectés en F1, la stimulation en S1 entraîne une hyperpolarisation accrue (de -70 mV à -140 mV) de la membrane du motoneurone enregistrée en E1. Ainsi, les benzodiazépines, fixées sur les récepteurs membranaires du GABA de la synapse inhibitrice, accentuent l'hyperpolarisation de la membrane du motoneurone. En cas d'anxiété chronique traitée par les benzodiazépines, le motoneurone reçoit un message nerveux inhibiteur provenant de la synapse inhibitrice où agissent à la fois le GABA, l'anxiété et les benzodiazépines et un message nerveux excitateur provenant de la synapse à acétylcholine. La résultante de l'intégration nerveuse par le motoneurone est une hyperpolarisation de la membrane du motoneurone, entraînant l'absence de potentiels d'action dans le motoneurone : le muscle ne se contracte pas. L'effet inhibiteur du GABA, normalement annulée par l'anxiété, est donc rétabli par les benzodiazépines.

Ainsi, l'anxiété chronique entraîne des contractions musculaires brusques et inopinées, qui s'expliquent par la levée de l'inhibition du motoneurone au niveau de la synapse inhibitrice à GABA. Les benzodiazépines permettent de traiter ces contractions involontaires en rétablissant l'inhibition du motoneurone. Les benzodiazépines sont donc un traitement intéressant pour la prise en charge des troubles dus à l'anxiété. Mais les benzodiazépines sont connues pour entraîner une dépendance. Quels sont alors les mécanismes expliquant la dépendance due à la prise des benzodiazépines ?

Émirats arabes unis, avril 2014, partie 2, exercice 2

La myasthénie auto-immune

Dans le cadre de l'accompagnement personnalisé, Amélie doit présenter un schéma de synthèse expliquant une maladie : la myasthénie auto-immune. En pleine période des journées du Téléthon, Amélie a consulté le site de l'Association française contre les myopathies (AFM Téléthon) et a lu la description de cette maladie. Cependant, pas très sûre d'elle, elle vous demande de corriger son travail avant de le présenter à l'ensemble de sa classe.

À partir de l'exploitation des documents et à l'aide de vos connaissances, rédiger un texte présentant l'origine des symptômes de la myasthénie auto-immune. Corriger le schéma de synthèse d'Amélie (qui contient cinq erreurs de légende et de représentation, traduisant des erreurs de compréhension) puis finir de le légendier en utilisant vos connaissances.

Le schéma de synthèse corrigé et légendé sera rendu avec la copie.

○ Document 1

Qu'est-ce que la myasthénie ?

La myasthénie est une maladie neuromusculaire causée par un dysfonctionnement de la synapse neuromusculaire. Il en résulte une faiblesse musculaire d'intensité et de durée variables qui peut toucher n'importe quel muscle. Cette faiblesse augmente à l'effort ou à la répétition du mouvement et peut aboutir à une paralysie partielle du ou des muscles concernés. Elle apparaît en général entre 20 et 40 ans et touche environ 5 à 10 personnes sur 100 000. On sait aujourd'hui que la myasthénie est causée par un dysfonctionnement du système immunitaire : la personne atteinte de myasthénie fabrique des anticorps dirigés contre les récepteurs à l'acétylcholine empêchant l'acétylcholine de s'y fixer. C'est ce qu'on appelle une maladie auto-immune.

Source : d'après AFM 10/2006, ISSN : 1769-1850.

○ Document 2

Le rôle des organes lymphoïdes

Les organes lymphoïdes sont des organes dans lesquelles les cellules du système immunitaire, notamment les lymphocytes, sont produites et arrivent à maturité. Il arrive parfois que des lymphocytes soient capables de réagir contre des molécules de leur propre organisme, on dit qu'ils sont auto-réactifs. Fort heureusement, ces cellules ne quittent jamais les organes lymphoïdes, où divers mécanismes les inactivent ou les détruisent. Mais, lorsque ces mécanismes n'ont pas lieu correctement, ils laissent s'échapper des lymphocytes auto-réactifs. C'est le cas chez un individu myasthénique.

Document 3

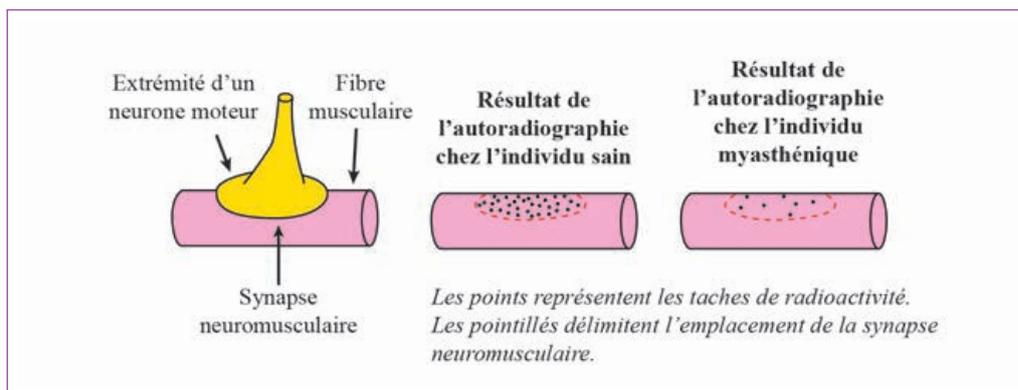
Étude au niveau de la synapse neuromusculaire

L'alpha-bungarotoxine, une molécule toxique extraite d'un venin de serpent, possède la propriété de se fixer sur les récepteurs à l'acétylcholine. Son injection à une souris saine entraîne des symptômes analogues à ceux de la myasthénie.

Expérience

De l'alpha-bungarotoxine radioactive est mise en présence de cellules musculaires prélevées chez un individu sain et chez un individu myasthénique. On rince ensuite les cellules, ce qui a pour effet d'éliminer toutes les molécules d'alpha-bungarotoxine qui ne sont pas fixées sur les cellules. Enfin, on réalise une autoradiographie de chaque type de cellules musculaires afin de révéler la radioactivité.

Résultats expérimentaux

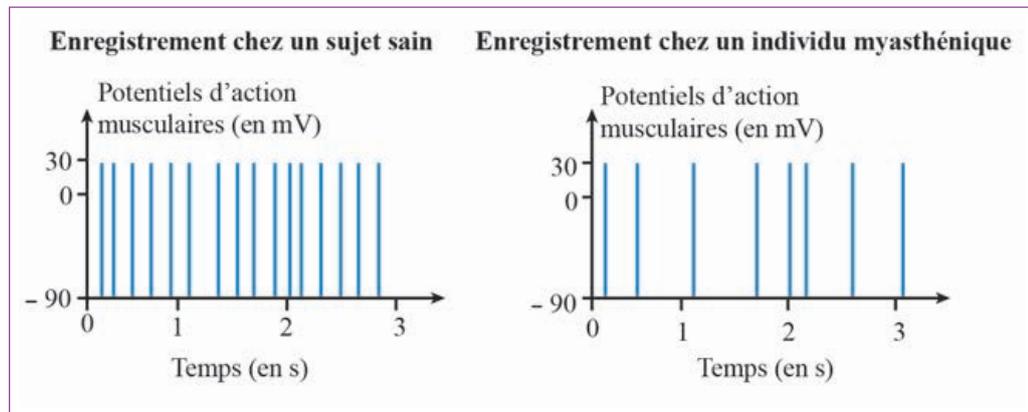


Remarque : le nombre de récepteurs à l'acétylcholine présents sur les fibres musculaires est le même chez un individu sain et un individu myasthénique.

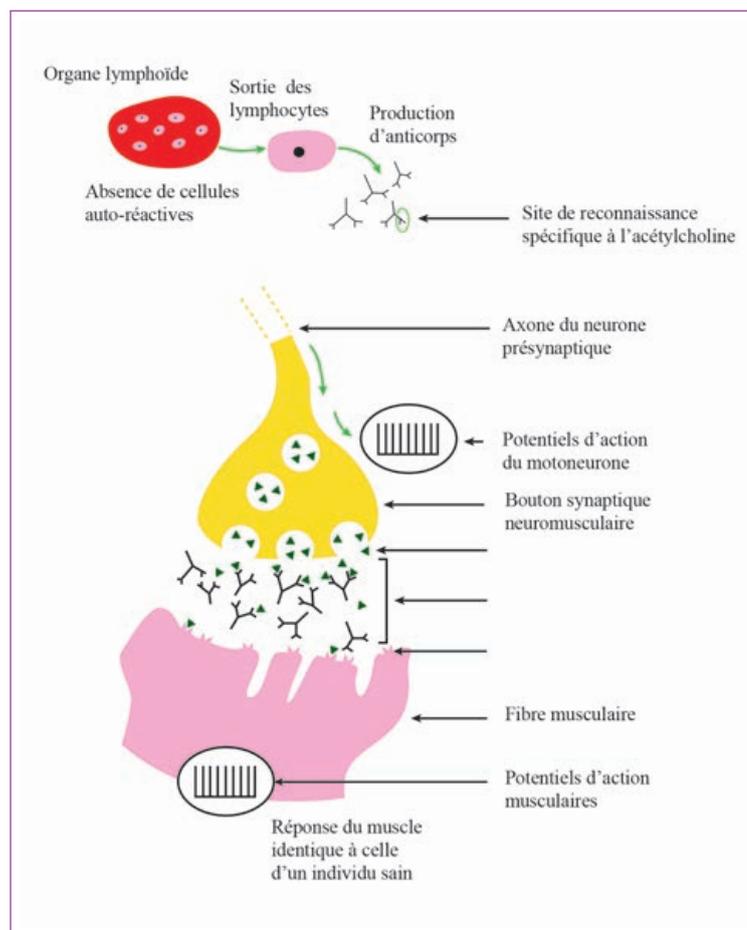
Document 4

Étude des potentiels d'action musculaires

Au temps $t = 0$ s, on applique une stimulation de même intensité sur une fibre nerveuse motrice d'un sujet sain et d'un individu myasthénique. Cela provoque la contraction du muscle qu'elle innerve. On enregistre la réponse électrique de ce muscle au moment de la contraction.



- Schéma de synthèse à rendre avec la copie (proportions non respectées)



► Comprendre la question

Il s'agit de comprendre l'origine des symptômes d'une maladie neuromusculaire, la myasthénie, qui se caractérise par une faiblesse musculaire. Puis, l'énoncé demande de corriger et de compléter le schéma de synthèse d'une élève, Amélie. L'exercice ne présente pas de difficultés particulières car la démarche est relativement aisée, mais l'exploitation des documents, notamment

l'expérience du document 3, doit être menée avec rigueur. Attention à bien suivre les consignes concernant le schéma.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue est un texte structuré présentant l'origine des symptômes de la myasthénie en s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances. Puis il faut repérer les cinq erreurs que comporte le schéma de synthèse d'Amélie et les corriger. Enfin, il faut compléter les trois légendes manquantes au niveau de la synapse neuromusculaire présente dans le schéma de synthèse d'Amélie. Aucun schéma supplémentaire n'est exigé.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau suivant présente un exemple de démarche construite au brouillon.

Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
<p>Document 1. Caractéristiques de la myasthénie. Quelle est l'origine des symptômes de la myasthénie, maladie neuromusculaire ?</p> <p>Document 3. Étude de la synapse neuromusculaire à l'aide de l'alpha-bungarotoxine. Chez un individu myasthénique, l'alpha-bungarotoxine se fixe sur un nombre réduit de récepteurs à acétylcholine de la synapse neuromusculaire par rapport à un individu sain.</p> <p>Document 2. Existence de lymphocytes autoréactifs capables de sécréter des anticorps dirigés contre les récepteurs à acétylcholine. La présence de ces anticorps limite la fixation d'acétylcholine sur la synapse neuromusculaire. La myasthénie est donc une maladie auto-immune.</p>	<p>Le motoneurone ou neurone moteur commande la contraction musculaire.</p> <p>La synapse neuromusculaire correspond à la zone de contact entre le motoneurone et la fibre musculaire. À la suite de l'arrivée d'un message nerveux moteur, le motoneurone libère des neurotransmetteurs (ou neuromédiateurs) dans la fente synaptique. Ces neurotransmetteurs se fixent sur des récepteurs spécifiques de la membrane plasmique de la fibre musculaire, générant un potentiel d'action musculaire, qui déclenche la contraction musculaire.</p>
Schéma de synthèse d'Amélie corrigé et complété au niveau des légendes.	

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

L'origine des symptômes de la myasthénie

La myasthénie est une maladie neuromusculaire, apparaissant entre 20 et 40 ans et affectant 5 à 10 individus sur 100 000. La myasthénie se caractérise par une faiblesse musculaire d'intensité et de durée variable, qui peut conduire à une paralysie des muscles (document 1). Quelle est l'origine des symptômes de cette maladie neuromusculaire ?

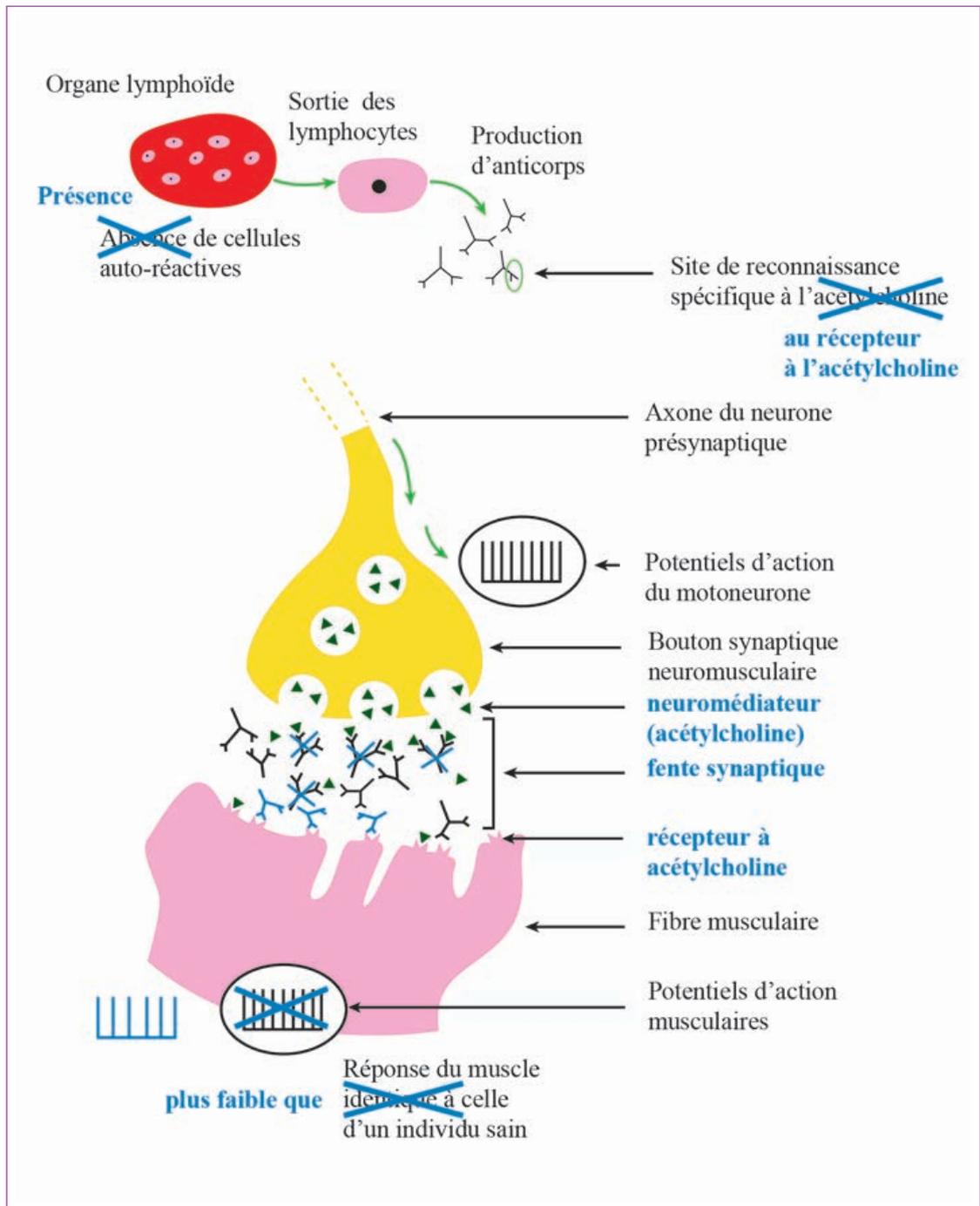
Pour comprendre l'origine de la myasthénie, on étudie l'action d'une toxine contenue dans le venin d'un serpent, l'alpha-bungarotoxine. En effet, l'injection de l'alpha-bungarotoxine à des souris saines entraîne l'apparition d'une faiblesse musculaire, similaire à celle engendrée par la myasthénie (document 3). L'étude du mode d'action de l'alpha-bungarotoxine au niveau musculaire peut donc apporter des informations sur l'origine des symptômes de la myasthénie. On sait que l'alpha-bungarotoxine est capable de se fixer sur les récepteurs à acétylcholine présents sur les cellules musculaires et peut donc être utilisée pour repérer ces récepteurs à acétylcholine.

On réalise l'expérience suivante pour mettre en évidence la différence de fixation de l'alpha-bungarotoxine sur les récepteurs à acétylcholine des cellules musculaires d'un individu sain et de celles d'un individu myasthénique (document 3). De l'alpha-bungarotoxine radioactive est incubée en présence de cellules musculaires des deux types d'individus. Les cellules sont alors rincées pour éliminer l'alpha-bungarotoxine non fixée aux cellules musculaires. Puis, on effectue une autoradiographie pour révéler l'alpha-bungarotoxine radioactive fixée sur les récepteurs à acétylcholine. Chez l'individu sain, l'autoradiographie révèle la présence d'alpha-bungarotoxine fixée sur un nombre important de récepteurs à acétylcholine de la cellule musculaire. Chez l'individu myasthénique, l'alpha-bungarotoxine radioactive est présente sur un nombre réduit de récepteurs à acétylcholine de la cellule musculaire. Or, on sait que le nombre de récepteurs à acétylcholine est similaire chez un individu sain et chez un individu myasthénique (document 3). On en déduit qu'au niveau de la synapse neuromusculaire la cellule musculaire de l'individu sain présente de nombreux récepteurs à acétylcholine capables de fixer l'alpha-bungarotoxine tandis que la cellule musculaire de l'individu myasthénique présente un nombre beaucoup plus faible de récepteurs à acétylcholine capables de fixer l'alpha-bungarotoxine. Comment expliquer que, chez l'individu myasthénique, l'alpha-bungarotoxine se fixe sur un si faible nombre de récepteurs à acétylcholine ?

L'individu myasthénique produit des anticorps dirigés contre les récepteurs à acétylcholine. La fixation de ces anticorps sur des récepteurs à acétylcholine de la cellule musculaire empêche l'alpha-bungarotoxine de se fixer sur ces récepteurs (document 1). La présence de ces anticorps anti-récepteurs à acétylcholine explique les symptômes de la myasthénie. En effet, lors de l'arrivée d'un message nerveux moteur à l'extrémité du motoneurone, celui-ci libère un neurotransmetteur, l'acétylcholine. Chez l'individu sain, l'acétylcholine se fixe sur ses récepteurs spécifiques de la membrane plasmique de la cellule musculaire, déclenchant un potentiel d'action musculaire à l'origine de la contraction musculaire. Mais, chez l'individu myasthénique, des anticorps sont fixés sur des récepteurs à acétylcholine, empêchant une grande partie de l'acétylcholine de s'y fixer. Le message nerveux moteur n'est pas transmis, ou alors très faiblement, au niveau de la synapse neuromusculaire, et n'entraîne qu'une contraction musculaire de faible intensité. Mais quelle est l'origine des anticorps anti-récepteurs à acétylcholine chez l'individu myasthénique ?

Les organes lymphoïdes sont responsables de la production et de la maturation des lymphocytes. Dans ces organes lymphoïdes sont produits des lymphocytes autoréactifs, c'est-à-dire capable de réagir contre les propres molécules de l'organisme. Normalement, des mécanismes assurent l'élimination de ces lymphocytes autoréactifs. Mais, chez l'individu myasthénique, cette sélection négative n'a pas lieu correctement, entraînant la présence de lymphocytes autoréactifs capables de produire des anticorps se fixant spécifiquement sur les récepteurs à acétylcholine des cellules musculaires (document 2).

Ainsi, la myasthénie se caractérise par la présence de lymphocytes sécrétant des anticorps capables se fixer spécifiquement sur les récepteurs à acétylcholine des cellules musculaires. Cette fixation empêche la fixation de l'acétylcholine sur ses récepteurs. Le message nerveux moteur du motoneurone n'est donc pas bien transmis au niveau de la synapse à la cellule musculaire, d'où une faible contraction musculaire, voire une paralysie. La myasthénie est qualifiée de maladie auto-immune car le système immunitaire de l'individu réagit contre les propres constituants de l'organisme, ici les récepteurs à acétylcholine des cellules musculaires.



Émirats arabes unis, avril 2014, partie 2, exercice 2 spécialité

Un herbicide : la tentoxine

Comme tout organisme, une plante chlorophyllienne subit des agressions extérieures au cours de sa vie, par exemple par des champignons.

Certains d'entre eux produisent une molécule appelée tentoxine qui induit une chlorose : les feuilles deviennent ainsi orange puis jaunes. On constate aussi la mort assez rapide de la plante. La tentoxine est d'ailleurs utilisée comme herbicide pour l'élimination des plantes adventices communément appelées « mauvaises herbes ».

Expliquer la nouvelle couleur des feuilles des plantes traitées avec la tentoxine et justifier l'utilisation de la tentoxine en tant qu'herbicide.

La réponse s'appuiera sur l'exploitation du dossier documentaire et sur l'utilisation des connaissances.

○ Document 1

Actions de la tentoxine

- La tentoxine empêche la synthèse d'ATP au niveau des chloroplastes.
- Elle est responsable d'une disparition progressive de la chlorophylle, à l'origine d'une chlorose.

Source : d'après www.botanic06.com.

○ Document 2

Quelques notions de physique : la couleur des objets

La couleur d'un objet dépend de la lumière qui l'éclaire et de la nature chimique de sa surface qui détermine les radiations lumineuses qu'il absorbe et celles qu'il diffuse.

La couleur perçue par l'observateur de cet objet est la couleur des radiations qu'il diffuse.

C'est la couleur complémentaire des radiations qu'il absorbe.

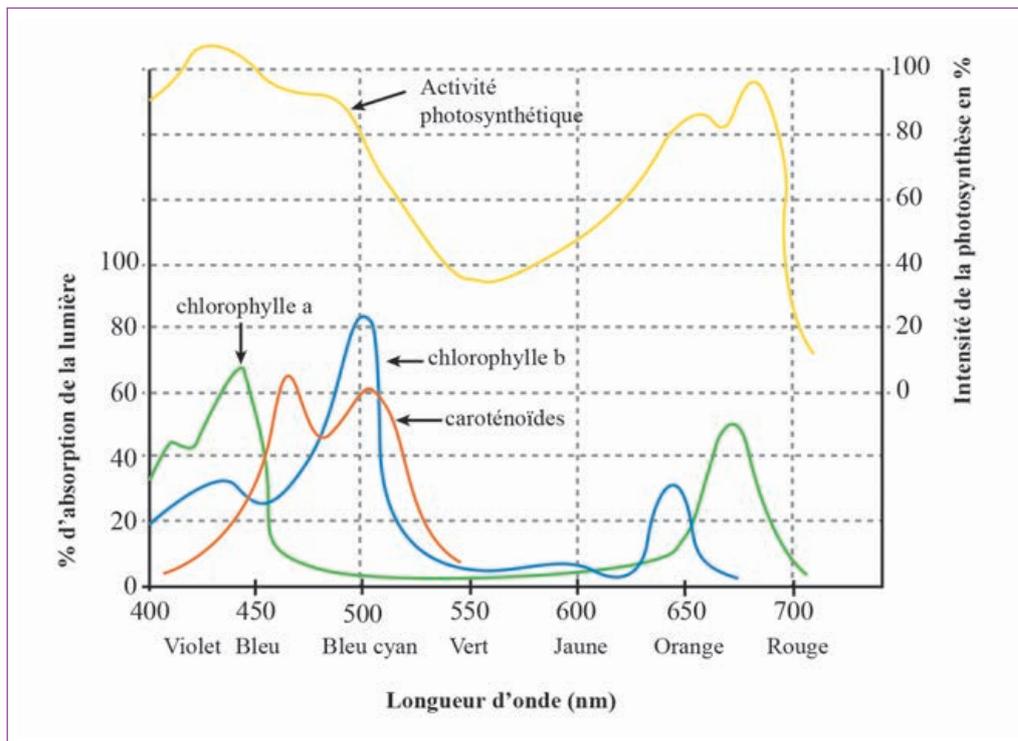
Tableau indiquant la couleur des objets en fonction des radiations absorbées

Radiations absorbées	Bleu-vert	Jaune-vert	Jaune orangé	Orangé	Rouge	Violet	Bleu	Bleu cyan
Couleur de l'objet	Rouge	Violet	Bleu violet	Bleu Cyan	Bleu-vert	Jaune-vert	Jaune orangé	Orange

Ainsi, un coquelicot est rouge parce que, lorsqu'il est éclairé en lumière blanche, il absorbe le bleu et le vert et diffuse le reste donc le rouge.

Document 3

Spectre d'absorption des pigments chlorophylliens et activité photosynthétique



D'après Le Monde.fr

Document 4

L'expérience d'Arnon et une expérience complémentaire

Lors de la phase chimique de la photosynthèse, le cycle établi par Calvin correspond à une réduction du CO_2 . Les réactions qui le constituent nécessitent de l'énergie chimique. Pour déterminer la nature de cette énergie chimique et l'origine de celle-ci, Arnon (1958) réalise les expériences ci-dessous. Il prépare, à partir de chloroplastes, des milieux contenant uniquement du stroma. Il place ces milieux dans différentes conditions puis introduit des molécules de CO_2 radioactives $^{14}\text{CO}_2$. Il mesure alors la quantité de $^{14}\text{CO}_2$ fixé.

Expérience d'Arnon

Contenu du milieu	Quantité de CO ₂ fixé dans le stroma mesurée en coups par minute
Stroma à l'obscurité	4 000
Stroma à l'obscurité mis en présence de thylakoïdes ayant séjourné précédemment à la lumière	96 000
Stroma à l'obscurité mis en présence d'ATP et de transporteurs d'hydrogène réduits (RH ₂)	96 000

Expérience complémentaire

Contenu du milieu	Quantité de CO ₂ fixé dans le stroma mesurée en coups par minute
Stroma à l'obscurité mis en présence de thylakoïdes ayant séjourné précédemment à la lumière et avec de la tentoxine	4 000

► Comprendre la question

Il s'agit d'expliquer les deux effets sur les plantes chlorophylliennes de la tentoxine, une molécule synthétisée par un champignon. Il faut d'abord expliquer pourquoi les feuilles des végétaux exposés à la tentoxine perdent leur couleur verte et deviennent orange puis jaunes. Puis il s'agit de montrer pourquoi la tentoxine peut être utilisée comme herbicide, en mettant en évidence le mode d'action de la tentoxine entraînant la mort du végétal. Le document 1 apporte les éléments de réponse à ces deux problématiques : la tentoxine, en faisant disparaître la chlorophylle, entraîne le jaunissement des feuilles et empêche la synthèse d'ATP lors de la photosynthèse, d'où la mort de la plante. L'élément essentiel de la démarche est de démontrer ces réponses à partir de l'exploitation rigoureuse des documents et des connaissances.

► Procéder par étapes**1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue**

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique**3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances**

Le tableau suivant présente un exemple de démarche construite au brouillon.

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Introduction : Comment expliquer le changement de couleurs des feuilles en présence de tentoxine et pourquoi la tentoxine peut-elle être utilisée comme herbicide ?		
Comment expliquer le changement de couleurs des feuilles en présence de tentoxine ?	<p>Document 2. Absorption par les feuilles vertes des radiations lumineuses rouges et violettes. Absorption par les feuilles orange des radiations bleu cyan et par les feuilles jaunes des radiations bleues.</p> <p>Documents 1 et 3. Disparition progressive de la chlorophylle sous l'action de la tentoxine : les feuilles deviennent orange (seuls la chlorophylle b et les caroténoïdes sont présents) puis jaunes (présence des seuls caroténoïdes).</p>	<p>Les feuilles contiennent différents pigments, responsables de la couleur de la feuille.</p> <p>Le spectre d'absorption des pigments chlorophylliens représente le pourcentage de lumière absorbée par chaque pigment en fonction de la longueur d'onde.</p>
Pourquoi la tentoxine peut-elle être utilisée comme herbicide ?	<p>Documents 1 et 4. Le stroma est le lieu de la fixation du CO_2, en présence d'ATP et de RH_2, produits par les thylakoïdes exposés à la lumière lors de la phase photochimique.</p> <p>En présence de tentoxine, la fixation de $^{14}\text{CO}_2$ est réduite, la tentoxine empêchant la synthèse d'ATP au niveau des chloroplastes : la photosynthèse n'a pas lieu, justifiant l'utilisation de la tentoxine comme herbicide.</p>	<p>La photosynthèse comporte deux phases : la phase photochimique (dans la membrane des thylakoïdes, à la lumière, consomme de l'O_2, libère de l'H_2O et produit de l'ATP et du RH_2) et la phase chimique (dans le stroma, permet la fixation du CO_2 en présence d'ATP et de RH_2).</p>
Conclusion		

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Les plantes sont soumises à des agressions provenant de leur environnement, comme celles dues à l'action de champignons. Certains champignons sécrètent une toxine, la tentoxine, responsable de la chlorose des feuilles. Les feuilles de la plante exposée à la tentoxine, initialement vertes, deviennent orange puis jaunes. Ce changement de couleur est suivi par la mort rapide de la plante. Comment expliquer le changement de couleurs des feuilles en présence de tentoxine et pourquoi la tentoxine peut-elle être utilisée comme herbicide ? L'étude du spectre d'absorption des pigments chlorophylliens de la feuille nous permettra de comprendre l'origine de la couleur des feuilles et d'établir l'origine du changement de couleur des feuilles exposées à la tentoxine. Puis, nous déterminerons comment l'action de la tentoxine entraîne la mort de la plante en étudiant l'effet de cette toxine sur la photosynthèse.

Les feuilles de plantes chlorophylliennes sont vertes car la feuille diffuse des radiations vertes que notre œil perçoit. En fait, la feuille qui diffuse des radiations vertes absorbe les radiations lumineuses complémentaires de celles correspondantes au vert, c'est-à-dire les radiations lumineuses rouges et violettes (document 2). À la suite de l'action de la tentoxine, la feuille initialement verte subit une chlorose et devient orange puis jaune. Cela signifie que la feuille soumise à la tentoxine absorbe d'abord les radiations lumineuses bleu cyan (d'où la couleur orange de la feuille), puis celles bleues (d'où la couleur jaune de la feuille) (document 2). Comment expliquer ce changement d'absorption des radiations lumineuses, à l'origine du changement de couleur de la feuille ?

La feuille est riche en pigments chlorophylliens, que l'on peut caractériser par leur spectre d'absorption. Le spectre d'absorption des pigments chlorophylliens représente la proportion de radiations lumineuses absorbées par chaque pigment en fonction de la longueur d'onde de ces radiations (document 3). Une feuille verte non exposée à la tentoxine absorbe principalement dans le rouge ($\lambda = 700 \text{ nm}$) et le violet ($\lambda = 450 \text{ nm}$). Or, d'après le spectre d'absorption des pigments chlorophylliens, la chlorophylle a présente deux maximums d'absorption : l'un vers 440 nm et l'autre vers 670 nm . Ainsi, la feuille non exposée à la tentoxine contient une grande quantité de chlorophylle a responsable d'une forte absorption dans le rouge et le violet, d'où la couleur verte de la feuille.

Mais chez la feuille exposée à la tentoxine, le changement de couleur s'explique par le fait que l'absorption se fait principalement dans le bleu cyan quand la feuille est orange puis dans le bleu la feuille devient jaune. L'étude du spectre d'absorption montre que la chlorophylle a n'absorbe quasiment pas dans le bleu et dans le bleu cyan (document 3). On peut donc en déduire que la chlorophylle a n'est plus présente dans la feuille. En effet, la tentoxine fait disparaître la chlorophylle a (document 1). Lorsqu'en présence de tentoxine la feuille devient orange, elle absorbe dans le bleu cyan car il reste dans la feuille de la chlorophylle b et des caroténoïdes, qui présentent un maximum d'absorption dans le bleu cyan. Puis, lorsque la feuille devient jaune, elle n'absorbe que dans le bleu, qui est peu absorbé par la chlorophylle b mais davantage par les caroténoïdes. On en déduit que la tentoxine, après avoir fait disparaître la chlorophylle a, a fait disparaître ensuite la chlorophylle b. La feuille ne possède plus que des caroténoïdes comme pigments chlorophylliens, d'où sa couleur jaune. Comment expliquer que ce changement de couleur soit suivi de la mort du végétal ? Pour se fournir en matière et en énergie, les plantes chlorophylliennes réalisent la photosynthèse, qui comporte une première phase dite photochimique, nécessitant de la lumière

et une seconde phase dite chimique, où la réduction du CO_2 lors du cycle de Calvin permet la production de matière organique. L'expérience réalisée par Arnon en 1958 vise à mettre en évidence les conditions nécessaires à la réalisation de la phase chimique (document 4). Dans cette expérience, du CO_2 radioactif ($^{14}\text{CO}_2$) est incubé en présence du stroma de chloroplastes dans différentes conditions. On mesure au bout d'un certain temps la quantité de CO_2 radioactif fixé dans les molécules organiques produites. Le stroma seul à l'obscurité entraîne une faible fixation de $^{14}\text{CO}_2$ (4 000 cpm). Par contre, le stroma à l'obscurité incubé en présence de thylakoïdes ayant séjourné précédemment à la lumière entraîne une forte fixation de $^{14}\text{CO}_2$ (96 000 cpm). On en déduit que le stroma en présence des thylakoïdes préalablement exposés à la lumière permet la fixation du CO_2 . De plus, une fixation élevée de $^{14}\text{CO}_2$ (96 000 cpm) peut avoir lieu à l'obscurité dans le stroma incubé en présence de RH_2 et d'ATP. Ainsi, la fixation du CO_2 dans le stroma nécessite la présence d'énergie chimique, sous forme d'ATP et de RH_2 , produits au préalable par les thylakoïdes exposés à la lumière lors de la phase photochimique. Une expérience complémentaire montre qu'à l'obscurité le stroma incubé en présence de thylakoïdes ayant séjourné précédemment à la lumière et en présence de tentoxine entraîne une faible fixation de $^{14}\text{CO}_2$ (4 000 cpm) (document 4). Ainsi, en présence de tentoxine, la fixation de CO_2 n'a pas lieu alors que les conditions nécessaires à la phase chimique sont réunies car la tentoxine empêche la synthèse d'ATP au niveau des chloroplastes (document 1).

Ainsi, la tentoxine, toxine issue d'un champignon, entraîne la disparition de la chlorophylle a puis de la chlorophylle b des feuilles, qui changent de couleur en devenant orange puis jaunes : les caroténoïdes sont les seuls pigments chlorophylliens restants dans les feuilles jaunes. De plus, la tentoxine empêche la production d'ATP lors de la phase photochimique : la phase chimique, qui nécessite les produits de la phase photochimique (ATP et RH_2), ne peut avoir lieu. L'absence de production de matière organique lors de la photosynthèse par la plante entraîne la mort de celle-ci. La tentoxine peut donc être utilisée comme herbicide pour éliminer les plantes adventices.

Sujet national, juin 2013, partie 2, exercice 2 spécialité

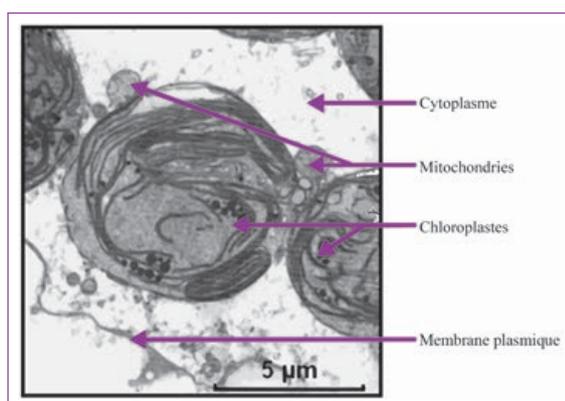
La limace « solaire »

Elysia chlorotica est un mollusque vivant le long de la côte atlantique nord-américaine. Dénué de coquille, son corps arbore une couleur verte identique à celle des algues parmi lesquelles il se camoufle.

À partir de l'exploitation des documents et de la mise en relation avec les connaissances, expliquer le fait que cet animal ne prenne qu'un seul repas en quelques mois.

○ Document 1

Électronographie d'une portion de cellule intestinale d'*Elysia chlorotica*



Source : d'après « Mollusk/algal symbiosis », *Zoology*, 2001.

○ Document 2

Les échanges de dioxygène d'*Elysia* adulte en fonction de l'intensité lumineuse

Les chercheurs ont quantifié les échanges de dioxygène des individus adultes (âge : 6 à 7 mois) avec leur environnement, en fonction de l'intensité lumineuse à laquelle ont été soumis les animaux. Le tableau indique les résultats obtenus :

« + » = dégagement de dioxygène « - » = absorption de dioxygène	Intensité lumineuse (en % de l'intensité maximale)				
	100 %	50 %	25 %	10 %	0 %
Intensité des échanges d'O ₂ (en microlitres d'O ₂ par mg de chlorophylle et par heure)	+ 17	+ 12	+ 6	+ 0,5	- 7

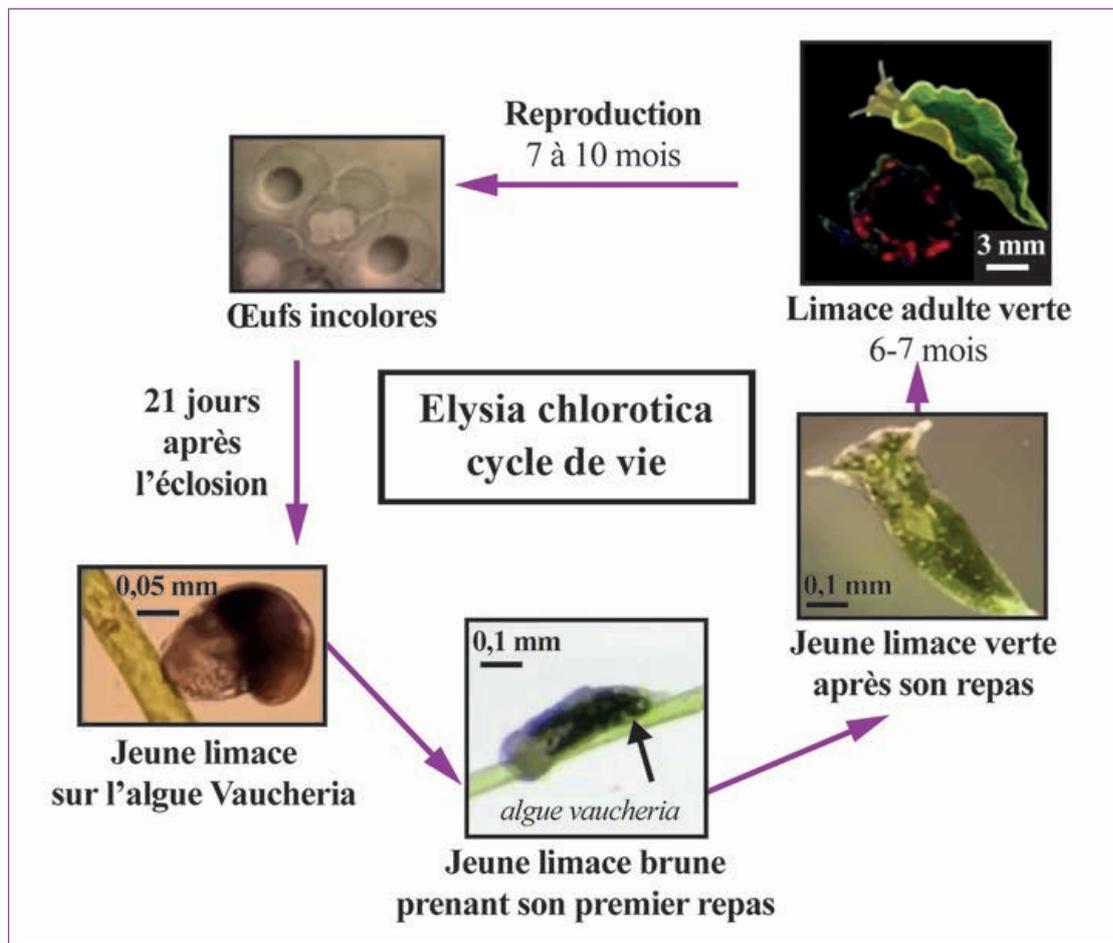
Source : d'après accès.ens-lyon.fr/evolution.

Document 3

Le cycle de vie d'*Elysia*

À leur naissance, les jeunes limaces sont brunes. Puis elles consomment l'algue *Vaucheria litorea*, et leur corps change de couleur, virant progressivement au vert, couleur qu'elles garderont toute leur vie.

Parallèlement, un phénomène accompagne cette transformation : une fois ce repas terminé, elles peuvent rester plusieurs semaines, voire plusieurs mois, sans manger de nouveau.



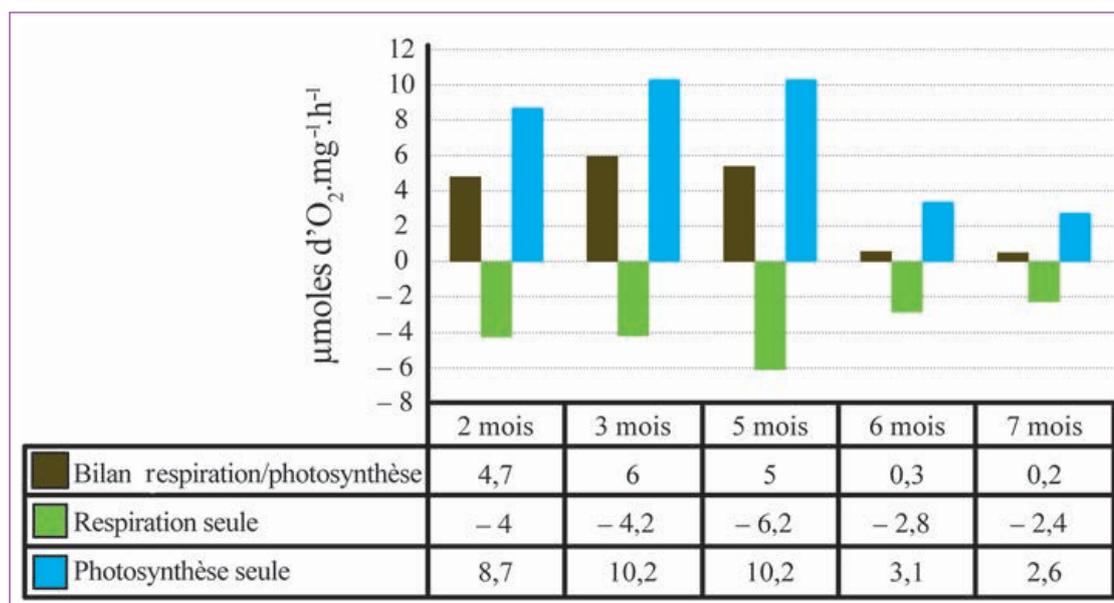
Source : Rumpho Mary E. *et al.*, *The Journal of Experimental Biology*, 2011, 214 : 303-311.

Document 4

Les échanges de dioxygène d'*Elysia* au cours de leur vie

Les chercheurs ont étudié les échanges d'O₂ des mollusques durant leur vie. Il s'agit d'animaux élevés dans une eau de mer artificielle et soumis à un jeûne (pas d'apport de filaments d'algues) à partir d'une quinzaine de jours après leur premier repas. Ces échanges ont été mesurés en plein éclairage d'une part (bilan photosynthèse/ respiration) et à l'obscurité d'autre part (respiration seule). Le document présente les résultats obtenus.

Échange de dioxygène d'*Elysia* pendant 7 mois d'élevage



Source : d'après [accès.ens-lyon.fr/evolution](https://www.acces.ens-lyon.fr/evolution).

► Comprendre la question

La question porte sur un mollusque de bord de mer, *Elysia*, qui a la capacité étonnante de se satisfaire d'un seul repas d'algues pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois. Le but de l'exercice est d'expliquer cette capacité en comprenant comment *Elysia* réussit à se fournir en matière organique et en énergie. Ce sujet ne nécessite que quelques connaissances sur la respiration et la photosynthèse. La principale difficulté réside dans la mise en relation des documents et la construction d'une démarche de résolution rigoureuse.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau suivant présente un exemple de démarche construite au brouillon.

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Introduction : Comment expliquer la capacité d' <i>Elysia</i> à ne prendre qu'un seul repas sur une longue période ?		
Comment expliquer la couleur verte d'<i>Elysia</i> ?	<p>Document 3. Cycle de vie d'<i>Elysia</i> : ingestion de l'algue verte <i>Vaucheria</i>.</p> <p>Document 1. Présence de chloroplastes et de mitochondries dans les cellules intestinales d'<i>Elysia</i>.</p>	
Quel est le métabolisme d'<i>Elysia</i> ?	<p>Document 2. À la lumière, <i>Elysia</i> est capable de réaliser la photosynthèse. À l'obscurité, <i>Elysia</i> réalise la respiration cellulaire.</p> <p>Document 4. Du 2^e au 5^e mois, la photosynthèse d'<i>Elysia</i> est plus intense que sa respiration, permettant sa croissance. Du 5^e au 7^e mois, chez <i>Elysia</i> qui n'est plus en croissance, photosynthèse et respiration sont équilibrées.</p>	<p>La photosynthèse, à la lumière, dans les chloroplastes, produit du O₂ et permet la synthèse de matières organiques comme le glucose.</p> <p>Dans les mitochondries, la respiration cellulaire utilise du glucose et du O₂ et produit de l'énergie utilisable pour les activités cellulaires.</p>
Conclusion		

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Elysia chlorotica, un mollusque de bord de mer, possède à la naissance une couleur brune puis devient verte dans les premiers mois de sa vie. De plus, *Elysia* est capable de ne prendre qu'un seul repas, à base d'algues *Vaucheria*, en quelques mois. Comment expliquer la capacité d'*Elysia* à ne prendre qu'un seul repas sur une longue période ? Pour répondre à cette question, nous étudierons le cycle de vie d'*Elysia* et nous analyserons une électronographie d'une de ses cellules intestinales. Puis, l'étude des échanges de O_2 d'*Elysia* avec son milieu nous permettra de caractériser le métabolisme de ce mollusque.

D'après le cycle de vie d'*Elysia* (document 3), les œufs incolores donnent naissance à de jeunes limaces brunes, qui se développent sur l'algue *Vaucheria*, qu'elles consomment. Après leur premier repas de cette algue, *Elysia* devient progressivement verte. Comment expliquer le changement de couleur de l'*Elysia* ?

L'électronographie d'une partie de cellule intestinale d'*Elysia* (document 1) montre la présence dans son cytoplasme de mitochondries et de chloroplastes. Or, les chloroplastes, organites riches en chlorophylle, présentent une couleur verte, qui explique la couleur d'*Elysia*. Si la présence de mitochondries est normale dans une cellule animale, en revanche la présence de chloroplastes, organites spécifiques des cellules végétales chlorophylliennes, est étonnante. On peut émettre l'hypothèse qu'à la suite de l'ingestion de l'algue verte *Vaucheria* par *Elysia*, les cellules intestinales d'*Elysia* aient pu capter les chloroplastes des cellules de *Vaucheria*, conférant ainsi une couleur verte à la jeune limace. La présence de chloroplastes chez *Elysia* expliquerait-elle sa capacité à ne consommer qu'un seul repas pendant plusieurs mois ?

L'étude des échanges d' O_2 d'*Elysia* adulte en fonction de l'intensité lumineuse (document 2) montre qu'à la lumière *Elysia* libère de l' O_2 dans le milieu, et ce d'autant plus que l'intensité lumineuse est forte. Par contre, à l'obscurité, *Elysia* consomme l' O_2 du milieu. Or, on sait que la photosynthèse a lieu dans les chloroplastes en présence de lumière et qu'elle s'accompagne d'une production d' O_2 . On peut donc supposer qu'à la lumière *Elysia* verte réalise la photosynthèse au niveau des chloroplastes présents dans ses cellules intestinales. En absence de lumière, l'*Elysia* réalise la respiration au niveau des mitochondries de ses cellules.

L'étude des échanges d' O_2 d'*Elysia* après son premier repas d'algues puis soumise à un jeûne permet de préciser le métabolisme d'*Elysia* (document 4). À l'obscurité, la consommation d' O_2 d'*Elysia* traduit sa respiration cellulaire. À la lumière, les échanges d' O_2 résultent à la fois de la respiration et de la photosynthèse d'*Elysia*. Du 2^e au 5^e mois, la production d' O_2 par photosynthèse est supérieure à la consommation d' O_2 par la respiration. En considérant que les échanges d' O_2 reflètent l'intensité des différents métabolismes, on en déduit que la photosynthèse est plus intense que la respiration. Or, la photosynthèse permet la production de molécules organiques. Une partie de ces molécules organiques est donc utilisée par la jeune *Elysia* pour se fournir en énergie lors de la respiration et l'autre partie est utilisée pour sa croissance. Puis, aux 6^e et 7^e mois, l'intensité de la photosynthèse et celle de la respiration diminuent et le bilan respiration/photosynthèse s'équilibre. En effet, à cette date, l'*Elysia* adulte a fini sa croissance (document 3). Ainsi, aux 6^e et 7^e mois, la majeure partie de la matière organique produite lors de la photosynthèse est utilisée pour la respiration.

Ainsi, *Elysia* est capable de ne consommer qu'un seul repas d'algue *Vaucheria* sur plusieurs mois car elle capture les chloroplastes de l'algue dans ses cellules intestinales et acquiert la capacité à réaliser la photosynthèse à la lumière. *Elysia* produit alors sa propre matière organique, qu'elle utilise pour sa croissance et pour se fournir en énergie grâce la respiration. Cet exemple met en évidence le couplage énergétique à l'échelle d'un organisme entre photosynthèse et respiration. Cette symbiose très particulière entre les chloroplastes d'une algue et les cellules d'un mollusque constitue un exemple de diversification du vivant.

Amérique du Nord, juin 2014, partie 2, exercice 2 spécialité

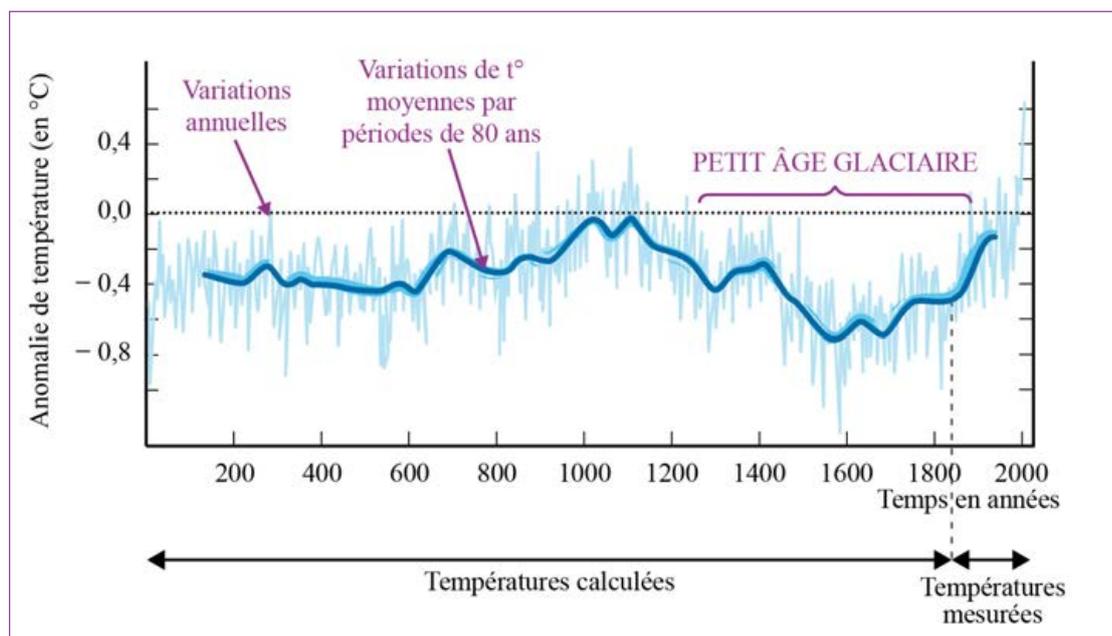
Petit âge glaciaire

Certains scientifiques pensent qu'une grande éruption volcanique est responsable de la baisse des températures observée au début du petit âge glaciaire (le petit âge glaciaire est une période climatique qui s'étend de 1250 à 1850).

À partir de l'étude des documents et des connaissances, préciser les arguments appuyant cette hypothèse.

Document 1

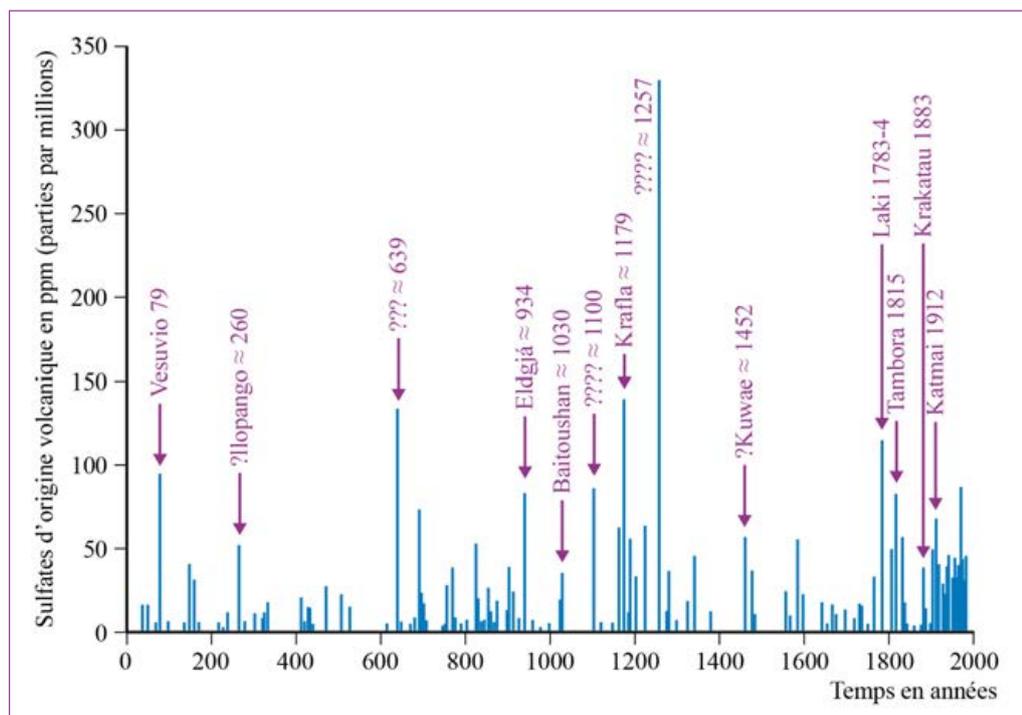
Estimation de l'anomalie de la température moyenne de surface (écart de température moyenne par rapport à la période 1961-1990) dans l'hémisphère nord



Source : d'après Moberg *et al.*, *Nature*, 10 février 2005.

Document 2

Les grandes éruptions volcaniques des 2 000 dernières années



Les volcans émettent, entre autres, des gaz soufrés (H_2S et SO_2). Dans l'atmosphère, ces gaz réagissent et donnent des sulfates à l'origine d'aérosols. On peut en retrouver la trace dans les carottes glaciaires. Le graphique représente la teneur en sulfates d'origine volcanique dans les glaces de la carotte GISP2 (Groenland). Quand elles sont connues, les éruptions responsables des dépôts observés sont indiquées.

Source : d'après Oppenheimer, *Int. J. Climatol*, 2003.

Document 3

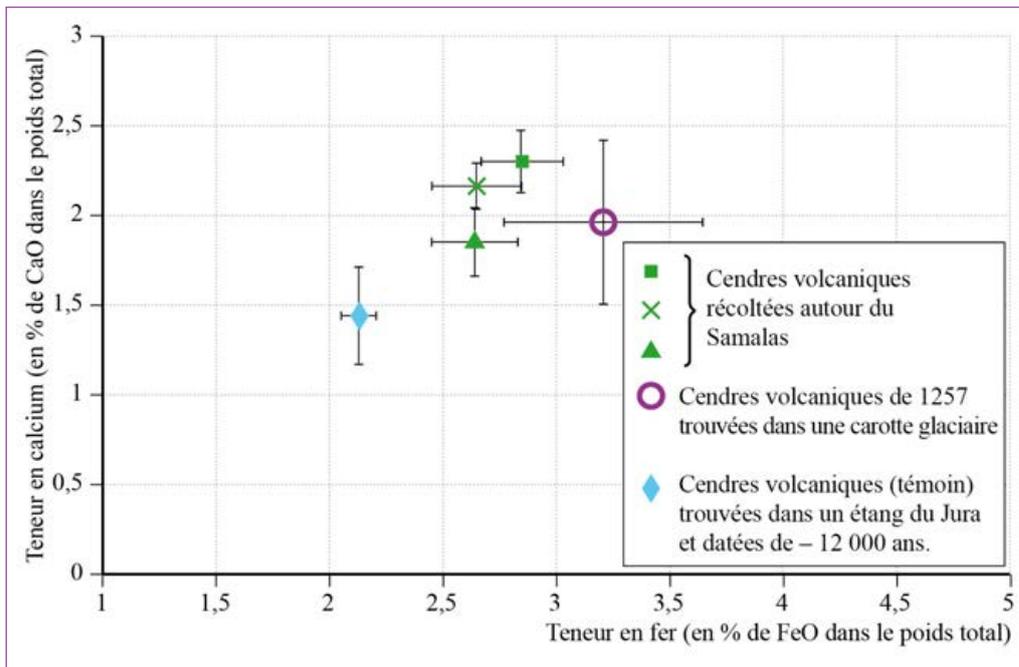
À la recherche de l'éruption de 1257

Des études récentes (2013) ont montré qu'une des plus grandes éruptions des 10 000 dernières années a eu lieu en Indonésie au niveau du volcan Samalas : des millions de tonnes de cendres ont été projetées dans l'atmosphère.

Des troncs carbonisés ont été retrouvés parmi les cendres volcaniques. Ils ont été datés en utilisant la méthode ^{14}C . Le bois a été produit par les arbres entre 1000 et 1257.

La composition chimique des cendres trouvées autour du volcan Samalas a été analysée, ainsi que celle des cendres volcaniques retrouvées dans les niveaux des carottes glaciaires datant de 1257. Une partie des résultats est présentée sur le graphique ci-dessous.

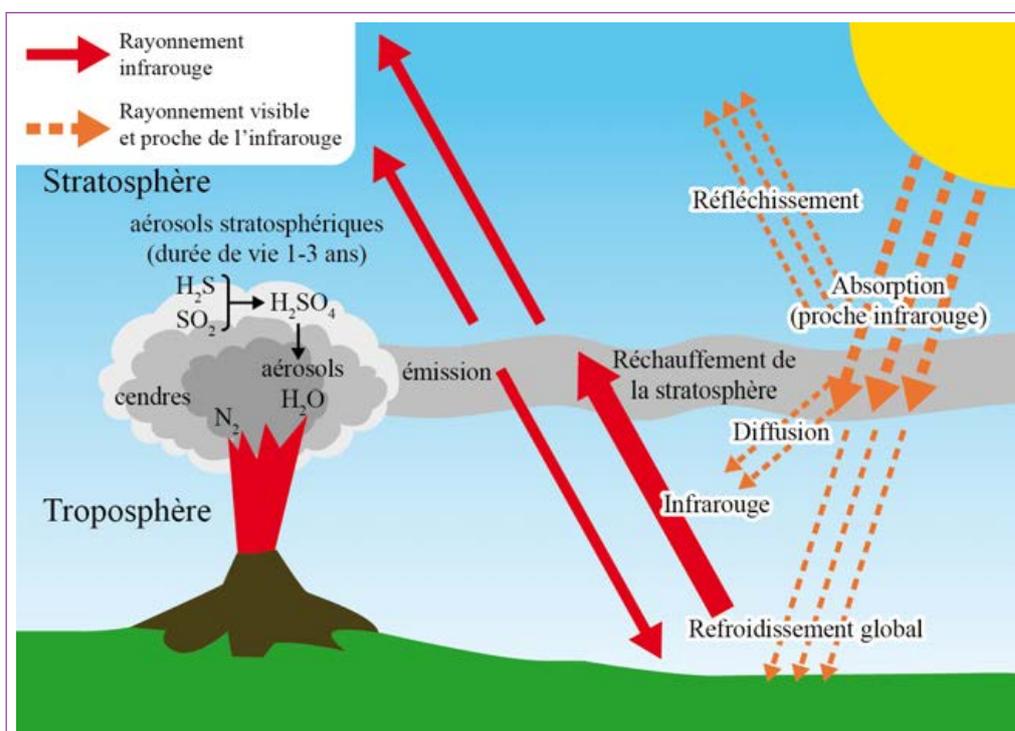
Les barres représentent les intervalles de confiance.



Source : d'après Lavigne *et al.*, *PNAS*, 2013 et Walter-Simonnet *et al.*, *Quaternaire*, 2008.

Document 4

Effet des émissions volcaniques sur la température globale de l'atmosphère terrestre



L'effet de refroidissement est lié à la présence d'aérosols dans la haute atmosphère, aérosols formés notamment à partir du sulfure d'hydrogène H_2S et du dioxyde de soufre SO_2 émis par l'épisode volcanique.

Ce phénomène est relativement bref et peut s'étendre à l'échelle globale dans le cas des éruptions explosives les plus violentes : les aérosols et les cendres sont alors injectés jusqu'à la stratosphère, où ils peuvent résider assez longtemps pour se disperser sur une grande surface.

Sources : d'après « Les crises de la biodiversité », site du Muséum national d'histoire naturelle (www.mnhn.fr) et *Géologie*, Dercourt et Paquet, 12^e édition.

► Comprendre la question

Il s'agit de montrer que la baisse des températures caractérisant le petit âge glaciaire (1250-1850) a pour origine une forte éruption volcanique qu'il faut identifier à l'aide des documents. La réponse est à structurer en trois parties : d'abord caractériser la baisse des températures lors du petit âge glaciaire, puis montrer l'existence d'une forte éruption volcanique datée de 1257, qui pourrait être celle du volcan Samalás en Indonésie. Enfin, il faut expliquer comment cette éruption volcanique a conduit à un refroidissement climatique global. Les principales difficultés de cet exercice résident dans la construction de la démarche, dont les différentes étapes doivent s'enchaîner logiquement, et dans la bonne compréhension des documents 3 et 4.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau ci-après présente un exemple de démarche construite au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Introduction : Quels sont les arguments montrant qu'une forte éruption volcanique est responsable de la diminution des températures durant le petit âge glaciaire ?		
Mise en évidence du petit âge glaciaire	Doc. 1. La période 1250 à 1850 est caractérisée par une température plus faible, d'environ $-0,3$ °C par rapport à la moyenne de température des périodes précédentes et suivantes.	
Recherche de l'origine géologique du petit âge glaciaire : identification de l'éruption volcanique	Doc. 2. Étude de la teneur en sulfates d'origine volcanique : mise en évidence de l'éruption volcanique de 1257, caractérisée par une forte émission de sulfates. Doc. 3. Arguments montrant que l'éruption volcanique de 1257 serait celle du volcan Samalas (Indonésie) : les troncs carbonisés dans les cendres volcaniques du Samalas furent produits entre 1000 et 1257 (datation au ^{14}C) ; composition chimique des cendres volcaniques du Samalas similaire à celle des cendres volcaniques dans les carottes glaciaires de 1257.	L'analyse de l'air piégé dans les glaces polaires permet de reconstituer la composition chimique (H_2S et SO_2) de l'atmosphère passée.
De l'éruption volcanique au refroidissement climatique du petit âge glaciaire	Doc. 4. Éruption de 1257 : émission d'une grande quantité de gaz soufrés dans l'atmosphère : augmentation du réfléchissement et de l'absorption du rayonnement solaire, diminuant la quantité d'énergie solaire parvenant à la surface terrestre ; diminution de l'effet de serre.	L'atmosphère terrestre transparente laisse passer une grande quantité du rayonnement solaire visible permettant le réchauffement de la surface terrestre. L'effet de serre est le phénomène par lequel certains gaz atmosphériques absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et augmentent ainsi la température terrestre.
Conclusion		

Le petit âge glaciaire est une période climatique s'étendant de 1250 à 1850, caractérisée par une baisse des températures. Des scientifiques ont émis l'hypothèse qu'une forte éruption volcanique serait à l'origine de cette période climatique froide. Quels sont les arguments en faveur de cette hypothèse ? Pour répondre à cette problématique, nous analyserons les variations de la température depuis deux mille ans. Puis nous étudierons le recensement des grandes éruptions volcaniques sur la même période pour identifier quelles éruptions pourraient être à l'origine du petit âge glaciaire. Enfin, nous préciserons les mécanismes par lesquels une éruption volcanique entraîne une diminution de la température terrestre.

Les anomalies de la température moyenne de surface dans l'hémisphère nord par rapport à la température moyenne de la période 1961-1990 sont estimées à partir de températures mesurées de 1850 à nos jours et à partir des températures calculées sur la période 0-1850 (document 1). L'étude de ces anomalies montre que de 0 à 1200, leur moyenne était comprise entre 0 °C et - 0,4 °C. À partir de 1250 environ, la moyenne des anomalies de température devient plus négative jusqu'à atteindre - 0,8 °C un peu avant 1600. Vers 1580, la variation annuelle de ces anomalies atteint même un minimum de - 1,2 °C. Puis, les anomalies de température ont diminué pour rejoindre vers 1850 l'anomalie moyenne observée avant 1200. De 1850 à nos jours, les anomalies de température sont devenues positives et ont augmenté continuellement. Ainsi, l'étude des anomalies de température démontre que la période 1250 à 1850 se caractérise par une température plus faible qu'avant 1250 et qu'après 1850. La différence de température est estimée à environ - 0,3 °C par rapport à la moyenne de température de la période 0-1200. Quelle est alors l'origine de cette diminution de la température de 1250 à 1850, appelée petit âge glaciaire ?

Dans les carottes glaciaires, il est possible de dater les différentes couches de glace des carottes et de mesurer leur teneur en sulfates. Or, ces sulfates sont issus des gaz soufrés (H_2S et SO_2) émis lors d'éruptions volcaniques. L'étude de la teneur en sulfates des carottes glaciaires du Groenland permet de caractériser et de dater les éruptions passées. Sur les 2 000 dernières années, de nombreuses éruptions volcaniques ont lieu avec des émissions variables de sulfates (document 2). En 1257, une éruption volcanique inconnue se caractérise par la plus forte émission de sulfates (330 parties par millions) enregistrée dans les carottes glaciaires sur les 2 000 dernières années. La concordance dans le temps entre cette forte éruption volcanique de 1257 et le début du petit âge glaciaire est un argument en faveur d'une origine volcanique de ce refroidissement climatique. Mais d'autres éruptions volcaniques ayant eu lieu avant et pendant le petit âge glaciaire et générant une plus faible teneur en sulfates ont pu aussi y contribuer. Où est localisée l'éruption volcanique de 1257 ? Comment procéder pour la localiser ?

Des études de 2013 ont mis en évidence que l'éruption du volcan Samalas en Indonésie est une des plus fortes éruptions volcaniques des 10 000 dernières années (document 3). Dans un premier temps, la datation au carbone 14 des troncs carbonisés retrouvés dans les cendres volcaniques du Samalas montre que le bois de ces troncs fut produit entre 1000 et 1257. La présence de troncs carbonisés dans les cendres du Samalas datés entre 1000 et 1257 est compatible avec l'existence d'une éruption du Samalas en 1257. Dans un second temps, la composition chimique des cendres volcaniques du Samalas est comparée à celle des cendres volcaniques présentes dans les niveaux des carottes glaciaires du Groenland et datées de 1257 (document 3). Chaque échantillon de cendres

volcaniques est caractérisé par sa teneur en calcium et en fer. Les trois échantillons de cendres volcaniques récoltées autour du Samalas présentent une composition chimique similaire à celle des cendres volcaniques datées de 1257 de la carotte glaciaire. Par exemple, un des échantillons possède une teneur en calcium de $2,1 \pm 0,1$ % et une teneur en fer de $2,7 \pm 0,2$ %. En tenant compte des intervalles de confiance, ces valeurs correspondent à la composition chimique des cendres volcaniques datées de 1257 de la carotte glaciaire (teneur en calcium de $2 \pm 0,5$ % et teneur en fer de $3,2 \pm 0,5$ %). Par comparaison, les cendres volcaniques récoltées autour du Samalas ont une composition chimique significativement différente de celles trouvées dans un étang du Jura, datées de $-12\ 000$ et servant de témoin. Ainsi, la datation de 1000 à 1257 des bois carbonisés parmi les cendres volcaniques du Samalas et la similitude de composition chimique des cendres volcaniques du Samalas avec celles contenues dans les carottes glaciaires de 1257 montrent que le volcan Samalas, situé en Indonésie, a connu une éruption de grande ampleur en 1257. Les cendres volcaniques ont voyagé d'Indonésie jusqu'au Groenland où elles ont été fossilisées dans les glaces polaires. Comment expliquer que cette éruption du Samalas ait entraîné le refroidissement climatique du petit âge glaciaire ?

L'éruption volcanique du Samalas s'est accompagnée de l'émission d'une grande quantité de gaz soufrés H_2S et SO_2 dans l'atmosphère, qui réagissent en donnant des sulfates, à l'origine de la formation d'aérosols (document 2). Or, ces aérosols produits en grand nombre se sont accumulés au niveau de la stratosphère, où ils peuvent se répartir sur une grande partie de la planète (document 4). La couche stratosphérique d'aérosols est responsable d'un réfléchissement et d'une absorption accrue du rayonnement solaire, diminuant ainsi l'énergie solaire parvenant à la surface terrestre. De plus, la diminution de l'énergie solaire parvenant à la surface terrestre entraîne une réduction du rayonnement infrarouge terrestre émis par la Terre, d'où une diminution de l'effet de serre et donc du réchauffement terrestre. Mais les aérosols stratosphériques augmentent aussi le rayonnement infrarouge renvoyé sur Terre, accentuant ainsi l'effet de serre. Cependant, on peut conclure que les aérosols stratosphériques entraînent globalement un refroidissement climatique. Les aérosols peuvent résider longtemps dans la stratosphère, générant un refroidissement prolongé du climat terrestre.

Ainsi, plusieurs arguments démontrent que le petit âge glaciaire, période de refroidissement climatique de 1250 à 1850, est la conséquence de la forte éruption volcanique du volcan indonésien Samalas en 1257. L'éruption du volcan Samalas en 1257 dégagea dans l'atmosphère une grande quantité de gaz H_2S et SO_2 , formant des aérosols qui s'accumulèrent dans l'ensemble de la stratosphère, entraînant un forçage radiatif négatif, d'où une baisse de la température. Cette éruption du volcan indonésien Samalas en 1257 affecta de manière globale le climat terrestre jusqu'en Europe, qui connut le petit âge glaciaire. Quels sont mécanismes précis qui à partir d'une éruption volcanique en Indonésie entraînent un refroidissement climatique mondial sur plusieurs siècles ?

Inde, avril 2014, partie 2, exercice 2 spécialité

Évolution récente du climat

« Selon le jeu de données du National Climatic Data Center (NCDC), la France a connu son deuxième mois de mai le plus froid jamais mesuré, l'Espagne n'avait pas vu les températures descendre aussi bas depuis 1985 et le Royaume-Uni depuis 1996 [...]. »

Source : extrait du *Monde* du 21 juin 2013, Stéphane Foucard.

« Plus d'un tiers des Français sont climato-sceptiques, [...] indique le "Baromètre d'opinion sur l'énergie et le climat en 2013", publié par le Commissariat général au développement durable (CGDD). [...] 13 % d'entre eux estiment que le changement climatique n'est "pas prouvé", et 22 % s'accordent à constater le dérèglement du climat, mais jugent que "rien ne prouve que ce soit dû aux activités humaines". Environ 4 % n'ont aucun avis sur la question. »

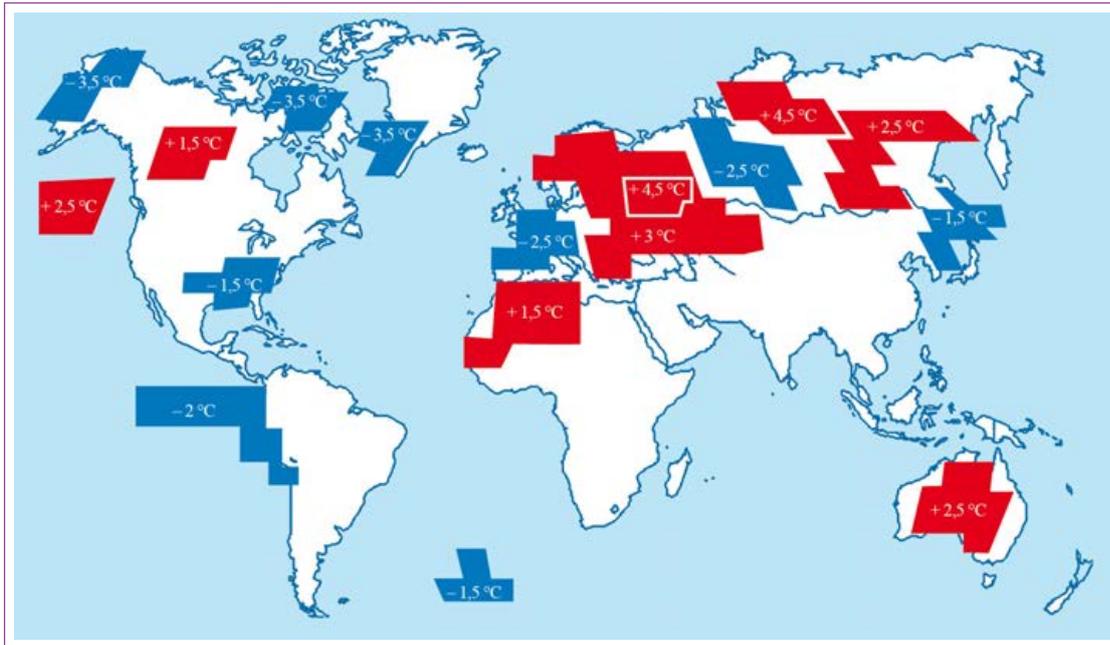
Source : extrait du *Monde* du 5 août 2013.

Présenter à une assemblée de climato-sceptiques des arguments allant dans le sens d'un réchauffement climatique malgré un mois de mai plus froid, et démontrer l'impact de l'Homme dans le réchauffement récent du climat.

La réponse s'appuiera sur l'exploitation du dossier documentaire et sur l'utilisation des connaissances.

○ Document 1

Anomalies de température atmosphérique enregistrées au-dessus des océans et des continents en mai 2013

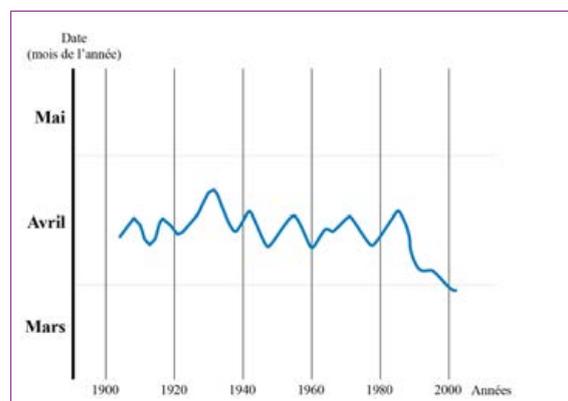


Source : d'après NOAA's National Climatic Data Center.

Remarque : seuls les écarts de température de plus de 1 °C par rapport à la moyenne sont indiqués.

○ Document 2

Étude du début de floraison des cerisiers à Liestal (Suisse) pendant la période 1900-2000



Source : d'après Météo Suisse, 2012.

○ Document 3

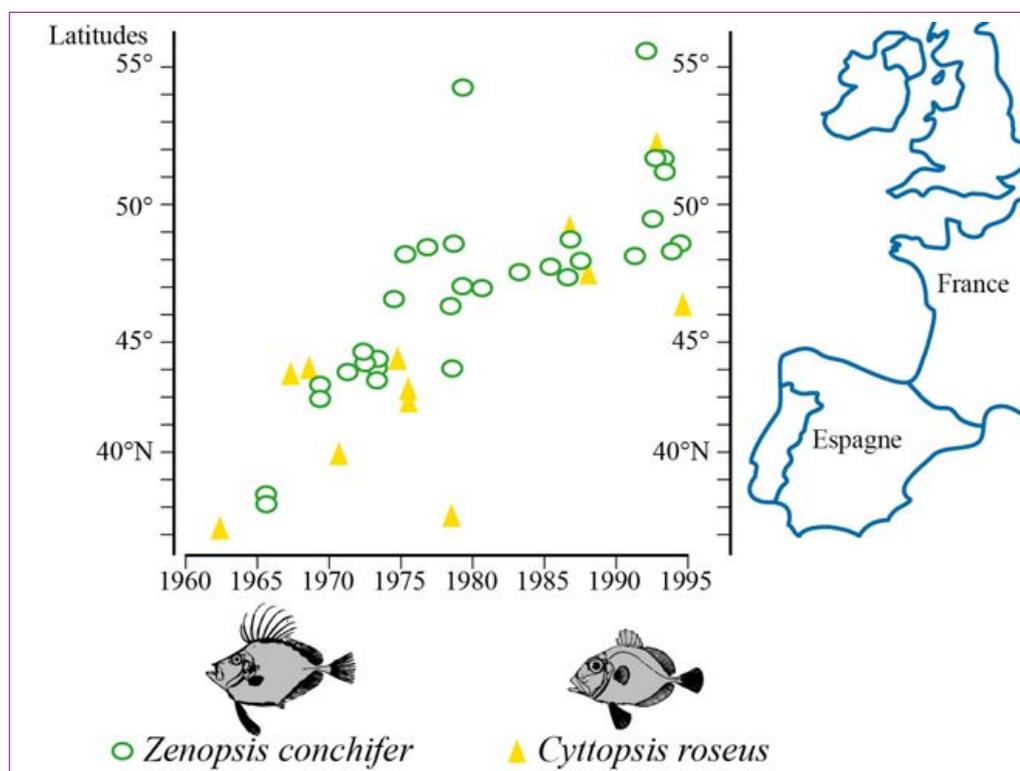
Résultats d'expériences menées sur la floraison de différentes plantes photosynthétiques

Conditions expérimentales	Nombre de jours après le début de l'expérience nécessaire à la floraison
Témoin	210 jours
+ 1,5 °C par rapport au témoin	157 jours
+ 3 °C par rapport au témoin	150 jours

Source : d'après le rapport final d'activité du projet « ICCARE », 2004.

○ Document 4

Distribution selon les latitudes et les années, de 1960 à 1995, de deux espèces de poissons à affinités tropicales

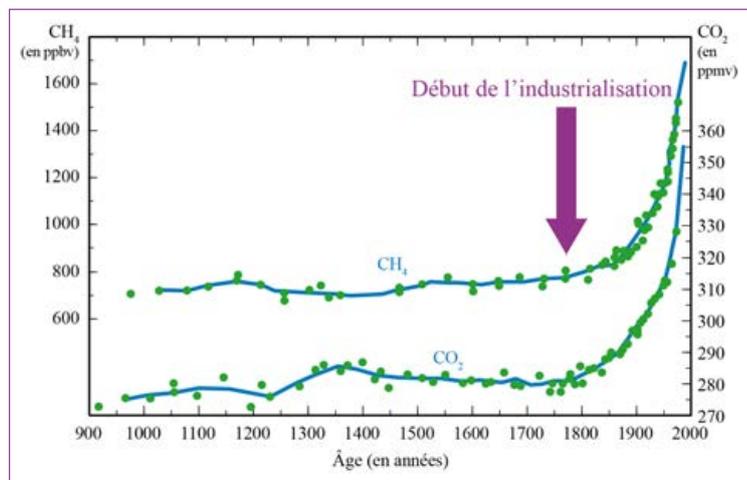


Source : d'après Jean-Claude Queiro, Marie-Henriette Du Buit, Jean-Jacques Vayne, *Les observations de poissons tropicaux et le réchauffement des eaux dans l'Atlantique européen*, IFREMER, 1998.

Document 5

Données concernant des paramètres de l'atmosphère

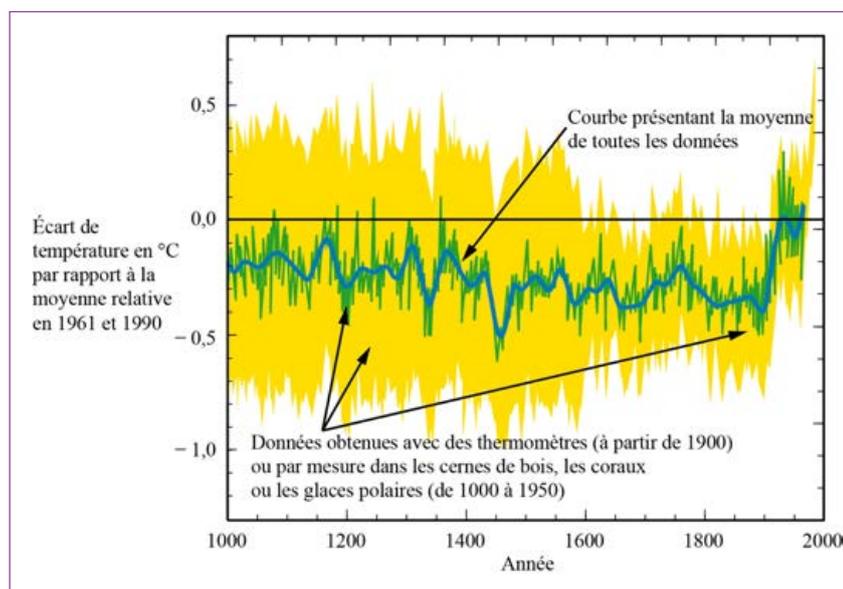
a. Évolution de la concentration atmosphérique de deux gaz à effet de serre



Source : d'après CNRS.

ppmv : partie par million en volume.
ppbv : partie par milliard en volume.

b. Évolution de l'écart de température depuis mille ans à la surface du globe



Source : d'après GIEC-IPCC.

► Comprendre la question

Il s'agit de convaincre une assemblée de climato-sceptiques de l'existence du réchauffement climatique en présentant des arguments directs (documents 1 et 5b) et indirects (documents 2, 3 et 4) en faveur de ce réchauffement. Puis, l'énoncé demande de mettre en évidence la corrélation entre le réchauffement climatique ainsi établi et l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (documents 5a et 5b) afin de montrer que les activités humaines sont à l'origine du réchauffement climatique. La réponse est à structurer en 2 parties : la mise en évidence du réchauffement climatique puis l'explication de l'origine de ce réchauffement. Attention à ne pas oublier d'intégrer dans la réponse des connaissances comme les méthodes d'étude de la composition de l'atmosphère et des températures du passé et la définition de l'effet de serre. L'originalité du sujet réside dans la forme attendue de la réponse, qui doit se présenter sous forme d'un exposé oral à une assemblée de climato-sceptiques, qui doit les convaincre de la réalité du réchauffement climatique et de son origine anthropique.

► Procéder par étapes**1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue**

La réponse attendue est un exposé destiné à convaincre des climato-sceptiques que le réchauffement climatique est réel, prouvé scientifiquement et dû aux activités humaines. L'exposé doit cependant être structuré avec une introduction, un développement s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances ainsi qu'une conclusion. Malgré la forme orale de l'exposé, il est conseillé de faire référence aux documents exploités, en mettant par exemple les références des documents entre parenthèses. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique**3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances**

Le tableau ci-après présente un exemple de démarche construite au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
<p>Introduction : Quels sont les arguments en faveur d'un réchauffement climatique actuel ? Quels sont les arguments montrant que ce réchauffement climatique est dû aux activités humaines ?</p>		
<p>Quels sont les arguments en faveur d'un réchauffement climatique actuel ?</p>	<p>Document 1. Étude des températures du mois de mai 2013 : mois froid en Europe de l'Ouest mais d'autres régions du monde ont connu un mois plus chaud qu'habituellement.</p> <p>Document 2. Étude de la flore : en Suisse, floraison actuelle plus précoce des cerisiers que pendant la période 1900-1985.</p> <p>Document 3. Une température élevée entraîne une floraison précoce. La floraison précoce des cerisiers atteste d'un réchauffement climatique.</p> <p>Document 4. Étude de la faune : la remontée vers des latitudes plus élevées de poissons tropicaux témoigne d'un réchauffement climatique.</p> <p>Document 5b. Étude des températures depuis 1 000 ans : mise en évidence de l'augmentation depuis 1950 environ de la température terrestre moyenne.</p>	<p>Plusieurs méthodes permettent d'estimer les températures passées dont :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) l'analyse de la composition isotopique des glaces polaires ; 2) la dendrochronologie (étude des cernes de bois).

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Quels sont les arguments montrant que ce réchauffement climatique est dû aux activités humaines ?	Documents 5a et 5b. À partir de 1900, forte corrélation entre l'augmentation des concentrations atmosphériques en CH ₄ et en CO ₂ et l'augmentation des températures.	L'analyse de l'air piégé dans les glaces polaires permet de reconstituer la composition chimique de l'atmosphère passée. L'effet de serre est le phénomène par lequel certains gaz atmosphériques (dits gaz à effets de serre, dont H ₂ O, CH ₄ , CO ₂ ...) absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et augmentent ainsi la température terrestre.
Conclusion		

« Bonjour Mesdames et Messieurs,

Le mois de mai 2013 fut particulièrement froid en France. D'autres pays d'Europe comme l'Espagne ou le Royaume-Uni n'avaient pas connu de mois de mai aussi froid depuis dix ou vingt ans. Et pourtant, les climatologues répètent qu'un réchauffement climatique a lieu actuellement. Qui croire ? Le réchauffement climatique est-il prouvé ? Si oui, est-il démontré qu'il est dû aux activités humaines ? Essayons de répondre à ces questions en examinant de plus près les anomalies de températures enregistrées en mai 2013 sur tout le globe. Puis nous étudierons les éléments apportés par l'étude de l'évolution de la faune et de la flore et, enfin, nous analyserons l'évolution de température moyenne à la surface de la Terre depuis l'an mil. Dans un dernier temps, nous verrons quels enseignements apporte l'étude de l'évolution de la concentration atmosphérique de deux gaz, le CH₄ et le CO₂, en relation avec l'évolution de la température à la surface de la Terre depuis mille ans.

Le mois de mai 2013 fut le 2^e mois le plus froid jamais mesuré en France. En effet, l'étude des anomalies de température atmosphérique enregistrées au-dessus de l'Europe de l'Ouest durant ce mois montre une anomalie négative de température de $-2,5$ °C (document 1). Ces anomalies négatives sont observées dans quelques autres régions du globe : $-1,5$ °C pour le sud-est des États-Unis, $-3,5$ °C en Alaska ou au sud du Groenland. Mais des anomalies positives sont également notées : $+1,5$ °C au nord-ouest de l'Afrique, $+3$ °C en Europe centrale et de l'Est, et même $+4,5$ °C au nord de la Russie et dans une partie au cœur de l'Europe de l'Est. Globalement, l'amplitude des valeurs des anomalies positives de température et leur étendue géographique sont plus importantes que celles des anomalies négatives. Le mois de mai 2013 ne fut pas plus froid partout dans le monde et dans plusieurs régions, il fut même beaucoup plus chaud qu'habituellement. Mais attention, en termes d'études climatiques, il n'est pas possible de conclure à partir de l'analyse d'un seul mois. Il nous faut étudier des périodes de temps plus longues, comme nous le verrons plus tard.

Intéressons-nous maintenant aux informations apportées par l'étude de la flore. À Liestal en Suisse, de 1910 à 1985, le début de floraison des cerisiers avait lieu vers la mi-avril, avec des fluctuations de quelques jours avant ou après cette date selon les années (document 2). Depuis 1985 jusqu'en 2000, le début de floraison des cerisiers a lieu progressivement plus tôt, vers fin mars. Au laboratoire, des expériences sont menées sur différentes plantes pour caractériser l'influence de l'augmentation de la température sur la date de floraison (document 3). Une augmentation de $+1,5$ °C (par rapport au témoin) de la température de culture des plantes entraîne une diminution de 53 jours du temps nécessaire à la floraison (157 jours au lieu de 210 pour le témoin). Une augmentation de la température de culture de $+3$ °C entraîne une diminution de 60 jours du temps nécessaire à la floraison. Ainsi, l'augmentation de la température de culture de la plante entraîne une floraison plus précoce. L'avancée de la date de floraison des cerisiers à Liestal atteste de l'augmentation de la température à laquelle sont exposés ces cerisiers.

Mais quels enseignements nous apportent maintenant l'étude de la faune ? Nous nous intéressons à l'évolution de la répartition latitudinale de 1960 à 1995 de deux poissons à affinités tropicales (document 4). De 1960 à 1980, *Cyttopsis roseus* vivait entre 34° à 45° de latitude Nord, au large des côtes de l'Espagne. De 1985 à 2000, ce poisson est présent à des latitudes plus élevées, entre

46° N et 51° N, c'est-à-dire au niveau du nord de la France et du Royaume-Uni. Cette modification de l'aire de répartition s'observe également pour *Zenopsis conchifer*, qui est progressivement passé d'une latitude de 45° N vers 1970-1975 à une latitude de 50° N vers 1995. Cette remontée vers le nord des aires de répartition de cette faune aquatique traduit un réchauffement des eaux océaniques, qui permet aux poissons tropicaux de migrer vers le nord afin de trouver des eaux à température adéquate.

Après ces preuves du réchauffement climatique obtenues de manière indirecte par l'étude la faune et de la flore, analysons l'évolution des écarts de température à la moyenne relative de 1961 à 1990 sur les 1 000 dernières années à la surface du globe. Ces valeurs sont obtenues par des mesures faites avec des thermomètres à partir de 1900 et par des mesures dans les cernes de bois, les coraux et dans les glaces polaires entre 1000 et 1950 (document 5b). Avant 1900, les résultats obtenus montrent que les écarts de température à la moyenne de 1961 à 1990 sont inférieurs de 0,2 °C à cette moyenne. Au contraire, à partir de 1900 environ, l'écart de température à la moyenne de 1961-1990 diminue progressivement, puis s'annule vers 1950 et devient positif en augmentant continuellement pour atteindre + 0,5 °C en 2000. Les valeurs obtenues depuis 1900 sont d'une grande fiabilité car elles proviennent de mesures directes faites avec des thermomètres. Elles montrent de manière incontestable une augmentation de la température à la surface de la Terre depuis 1900 environ jusqu'à nos jours et que l'on peut estimer à plus de 1 °C. Ainsi, différents arguments nous permettent d'établir la réalité du réchauffement climatique, mais quelle est son origine ?

Pour répondre à cette question, analysons l'évolution de la concentration atmosphérique de deux gaz, le CH₄ et le CO₂, sur les mille dernières années (document 5a). De 1000 à 1800, la concentration atmosphérique en CH₄ demeure globalement constante autour de 750 ppbv tandis que la concentration atmosphérique en CO₂ présente des variations mais reste toujours inférieure à 290 ppmv. À partir de 1800, il y a une augmentation importante et continue des concentrations atmosphériques en CH₄ et en CO₂. La concentration atmosphérique en CH₄ passe de 800 ppbv en 1800 à 1700 ppbv en 2000 tandis que celle en CO₂ passe de 285 ppmv en 1800 à plus de 355 ppmv en 2000. Or, le début du XIX^e siècle est caractérisé par le commencement de l'industrialisation, qui a entraîné un dégagement accru dans l'atmosphère de CH₄ et de CO₂, d'où l'augmentation de leurs teneurs atmosphériques observées.

La mise en parallèle de l'évolution des concentrations atmosphériques en CH₄ et en CO₂ avec l'évolution des températures sur le dernier siècle montre une corrélation importante entre ces grandeurs. En effet, le CH₄ et le CO₂ sont des gaz à effet de serre : ils participent à augmenter la température terrestre en piégeant le rayonnement infrarouge émis par la Terre. Le développement des activités humaines a donc entraîné une augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre. La présence accrue de ces gaz contribue à augmenter la température moyenne terrestre, comme le met en évidence la mesure des températures à la surface de la Terre, la modification de la répartition de certains animaux et la floraison plus précoce de certains végétaux.

Mesdames et Messieurs,

J'espère vous avoir convaincus que le réchauffement climatique est une réalité et une conséquence des activités humaines. Il nous faut maintenant prédire l'ampleur du réchauffement à venir en

fonction des décisions que nous prendrons concernant nos activités. Il nous faut aussi prévoir les conséquences de ce réchauffement sur la Terre, mais aussi sur la biosphère, dont l'humanité, à laquelle vous comme moi nous appartenons. »

*Sujet national, juin 2014, partie 2, exercice 2 spécialité***Produire un jus de banane à destination des jeunes enfants**

Les mauvaises habitudes alimentaires sont un des facteurs intervenant dans le développement de l'obésité et du diabète de type 2. Il est donc conseillé d'éviter d'habituer les enfants à consommer des aliments trop sucrés. Conscient de ces recommandations, un industriel voudrait commercialiser un jus de banane spécialement conçu pour les jeunes enfants.

En utilisant les informations des documents et les connaissances, expliquer à cet industriel quel procédé devra être mis en œuvre pour obtenir un jus de banane conçu pour les jeunes enfants.

o Document 1

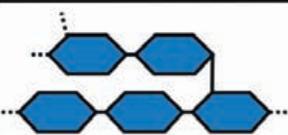
Compositions des jus de banane et objectifs de l'industriel

Le premier jus obtenu ne peut pas être commercialisé pour les enfants : sa saveur sucrée est trop prononcée et son opacité est trop importante. L'industriel souhaite donc obtenir un jus plus clair ayant une saveur moins sucrée.

	Composition du jus de banane initial	Composition du jus de banane que l'industriel souhaite obtenir
Eau	92 %	92 %
Protéines	< 1 %	< 1 %
Glucides	7 %	7 %
dont : amidon	2 %	Traces
maltose	Traces	7 %
glucose	5 %	Traces
Lipides	< 1 %	<1 %
Ions minéraux (sodium, magnésium, potassium, calcium...)	< 1 %	< 1 %

Document 2

Caractéristiques de quelques glucides

	Schématisation de la structure moléculaire	Contribution à la saveur sucrée	Contribution à l'opacité d'un jus de fruits
Amidon		-	+++
Maltose		+	+
Glucose		+++	+

+ : contribue
- : ne contribue pas

Document 3

Caractéristiques de quelques enzymes

Différentes enzymes sont couramment utilisées dans l'industrie agroalimentaire pour modifier les caractéristiques des aliments. Parmi celles-ci, l'industriel dispose de l'amylase, de la maltase et de la maltose-synthase.

3a. Étude expérimentale de l'amylase

On souhaite déterminer le rôle de l'amylase ainsi que les conditions dans lesquelles elle agit. On réalise 4 tubes à partir desquels on effectue différents tests.

Résultats obtenus

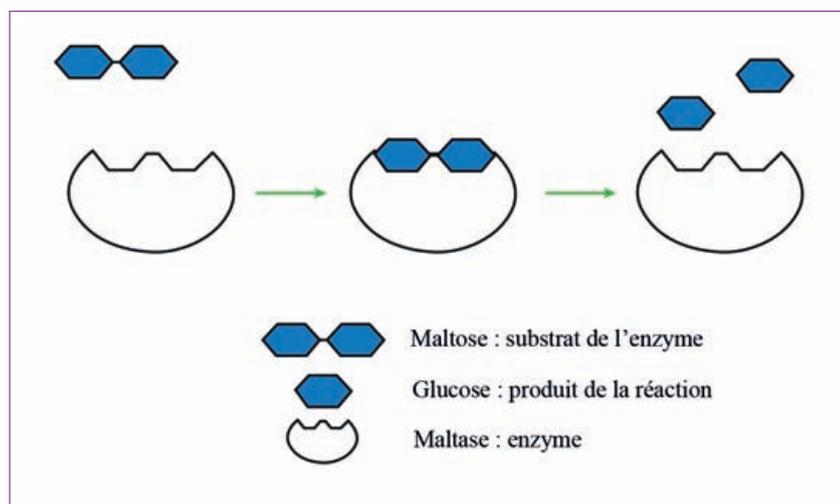
	Tube 1 : amidon + amylase à 2 °C	Tube 2 : amidon + amylase à 37 °C	Tube 3 : amidon + amylase à 85 °C	Tube 4 : amidon + eau distillée à 37 °C
Tests à T = 0 min	eau iodée : bleu violacé ; liqueur de Fehling : – ; glucotest : –.			
Test à l'eau iodée à T = 8 min	bleu violacé	jaune	bleu violacé	bleu violacé
Test à la liqueur de Fehling à T = 8 min	–	+	–	–
Glucotest à T = 8 min	–	–	–	–

Signification des résultats obtenus lors des tests

- Glucotest + : présence de glucose.
- Glucotest – : absence de glucose.
- Test à l'eau iodée présentant une couleur bleu violacé : présence d'amidon.
- Test à l'eau iodée présentant une couleur jaune : absence d'amidon.
- Test + à la liqueur de Fehling : présence de glucose ou de maltose (dans le cas de cette expérience).

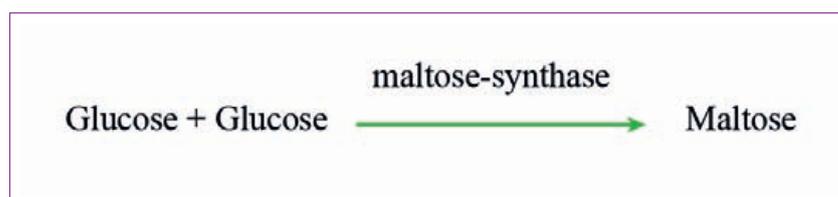
3b. Activité de la maltase

L'activité de la maltase a été testée à plusieurs températures : son activité maximale est observée pour une température de 37 °C.



3c. Activité de la maltose-synthase

L'activité de l'enzyme maltose-synthase a été testée à plusieurs températures : son activité maximale est observée pour une température de 37 °C.



► Comprendre la question

Il s'agit de résoudre le problème rencontré par un industriel fabriquant un jus de banane destiné aux jeunes enfants. En effet, l'industriel dispose au départ d'un jus de banane trop opaque et trop sucré pour être directement commercialisé. L'industriel souhaite déterminer quelles modifications permettraient d'obtenir un jus moins opaque et moins sucré à l'aide d'enzymes couramment utilisées en agroalimentaire. L'essentiel de la démarche réside dans l'identification justifiée des modifications à effectuer. L'opacité du jus de banane est due essentiellement à l'amidon. L'utilisation de l'amylase permet donc de réduire la quantité d'amidon. La saveur sucrée est surtout liée à la présence de glucose. L'utilisation de la maltose-synthase entraîne donc une diminution de la teneur en glucose du jus. L'originalité du sujet réside dans le choix des enzymes à utiliser parmi les 3 enzymes proposées dans l'énoncé et dans la forme de la réponse attendue, qui doit être une explication à l'industriel. Attention à ne pas oublier les éléments de connaissances, notamment sur les caractéristiques des enzymes, comme le demande l'énoncé.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue doit se présenter sous la forme d'une explication destinée à l'industriel de la manière d'obtenir un jus de banane adapté aux jeunes enfants. La réponse doit être structurée avec une introduction, un développement s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Il est conseillé de faire référence aux documents exploités, en mettant par exemple les références entre parenthèses. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau ci-après présente un exemple de démarche construite au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Sujet 25 | Énoncé

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
Introduction : Comment obtenir un jus de banane destiné aux jeunes enfants, c'est-à-dire peu opaque et peu sucré ?		
Quelles sont les caractéristiques des modifications du jus de banane à effectuer ?	Documents 1 et 2. L'amidon confère une forte opacité au jus de fruit : la diminution de la concentration en amidon entraîne une diminution de son opacité. Le glucose est responsable de la saveur sucrée : la diminution de la concentration en glucose réduit son goût sucré.	
Comment diminuer la concentration en amidon du jus de banane ?	Document 3a. L'amylase, enzyme couramment utilisée en agroalimentaire, catalyse à 37 °C l'hydrolyse de l'amidon en maltose, sans produire de glucose. L'utilisation de l'amylase dans le jus de banane entraîne une diminution de la teneur en amidon et une augmentation de celle en maltose.	Les enzymes sont des protéines qui accélèrent les réactions chimiques (catalyse enzymatique).
Comment diminuer la concentration en glucose du jus de banane ?	Documents 3c. La maltose-synthase, enzyme couramment utilisée en agroalimentaire, catalyse à 37 °C la formation de maltose à partir du glucose. L'utilisation de l'amylo-synthase dans le jus de banane entraîne une diminution de la teneur en glucose et une augmentation de celle en maltose.	Chaque enzyme est spécifique de son substrat et de la réaction qu'elle catalyse. L'activité des enzymes dépend des conditions du milieu : température, pH.
Conclusion		

« Vous disposez au départ d'un jus de banane qui présente une trop forte opacité et qui est trop sucré. Vous désirez le modifier pour obtenir un jus plus clair et moins sucré, commercialisable pour de jeunes enfants. Comment réaliser ces transformations ? Nous allons analyser la composition chimique du jus de banane initial puis celle du jus que vous désirez obtenir. Puis nous déterminerons les transformations à effectuer et comment les effectuer à l'aide des informations à notre disposition sur les enzymes utilisées en agroalimentaire.

Le jus de banane initial présente une trop forte opacité, due principalement à la présence d'amidon (2 %) (document 1). En effet, l'amidon confère une forte opacité aux solutions le contenant (document 2). Le premier objectif de la transformation de notre jus de banane est donc de diminuer la concentration en amidon pour en diminuer l'opacité. De plus, le jus de banane initial est trop sucré, à cause d'une forte présence en glucose (5 %), qui contribue fortement à sa saveur sucrée. Le second objectif est donc de réduire la concentration en glucose pour diminuer le goût sucré. La composition du jus de banane que vous souhaitez obtenir contient bien très peu d'amidon (sous forme de traces) et de glucose (sous forme de traces) (document 1) et se caractérise par une plus forte concentration en maltose (7 % au lieu de traces dans le jus initial). Le maltose, un dimère de glucose, contribue peu à la saveur sucrée et à l'opacité. La teneur des autres constituants du jus demeure inchangée. Voyons maintenant comment réaliser ces transformations qui aboutiront à diminuer fortement la teneur en glucose et en amidon et augmenter celle en maltose. En industrie agroalimentaire, nous disposons de différentes enzymes capables de modifier les caractéristiques des aliments. Nous recherchons des enzymes capables de diminuer les teneurs en glucose et en d'amidon tout en augmentant celle en maltose du jus. Pour cela, nous avons 3 enzymes à notre disposition : l'amylase, la maltase et la maltose-synthase (document 3).

L'étude expérimentale de l'amylase (document 3a) montre qu'en présence de cette enzyme (tube 2), la solution d'amidon (test initial positif à l'eau iodée) après 8 minutes à 37 °C ne contient plus d'amidon (test final négatif à l'eau iodée) mais du maltose, sans pour autant contenir du glucose. En effet, le test final à la liqueur de Fehling (test de détection du maltose et du glucose) est positif mais le test final de détection du glucose (Glucotest) est négatif. La transformation à 37 °C de l'amidon en maltose n'a pas lieu de manière significative en l'absence d'amylase (tube 4). L'amylase catalyse donc à 37 °C l'hydrolyse de l'amidon en maltose sans former de glucose. Cette réaction n'a pas lieu à 2 °C (tube 1) ni à 85 °C (tube 3). Ainsi, à 37 °C, la réaction d'hydrolyse de l'amidon catalysée par l'amylase est efficace et rapide, en moins de 8 minutes. Pour nous débarrasser de l'amidon, nous soumettrons donc le jus de banane initial à l'action de l'amylase à 37 °C, ce qui augmentera la teneur en maltose sans augmenter celle en glucose. Notre premier objectif sera donc atteint. Il s'agit maintenant d'éliminer le glucose dont la teneur est trop forte dans le jus initial. Pour cela nous disposons d'un autre enzyme, la maltose-synthase, capable de synthétiser du maltose à partir du glucose. La maltose-synthase fixe de manière spécifique sur son site actif deux molécules de glucose, qu'elle associe en une réaction spécifique pour former un dimère de glucose, le maltose (document 3b). La température optimale de réaction de cette enzyme est de 37 °C. Ainsi, l'action de la maltose-synthase à 37 °C sur le jus initial de banane entraînera une diminution de la teneur en glucose et une augmentation de celle en maltose, comme nous le désirons. Notre second objectif sera atteint.

Pour résumer, nous allons faire agir deux enzymes à 37 °C pendant une dizaine de minutes sur le jus de banane initial : l'amylase, qui catalyse la transformation de l'amidon en maltose, et la maltose-synthase, qui catalyse la transformation du glucose en maltose. Au final, le jus de banane obtenu après action de ces deux enzymes contiendra peu d'amidon et peu de glucose et sera enrichi en maltose. Il sera moins opaque et moins sucré que le jus initial : vous pourrez le commercialiser auprès de jeunes enfants. Ce jus de banane peu sucré répondra aux recommandations actuelles visant à lutter contre le développement de l'obésité et du diabète, qui sont de véritables enjeux de santé publique dans nos sociétés. »

Amérique du Nord, mai 2013, partie 2, exercice 2 spécialité

La régulation du diabète de type 2

Le diabète sucré de type 2 constitue un problème majeur de santé publique.

Dans la majorité des pays industrialisés, il est en constante augmentation. Les complications liées au diabète constituent une cause importante de mortalité.

De nombreuses études ont montré qu'un bon contrôle de la glycémie est essentiel pour réduire les risques de complications du diabète.

En s'appuyant sur les données issues des documents et les connaissances, expliquer en quoi la prise régulière de la molécule « liraglutide » proposée par un médecin peut améliorer l'état de santé des diabétiques de type 2.

○ Document 1

Rôle des hormones incrétines dans la régulation de la glycémie

On sait depuis le début du xx^e siècle que certaines cellules de l'intestin sont capables, en présence de glucose, de produire des hormones protéiques appelées incrétines.

Ces hormones ont une double action :

- elles stimulent l'activité des cellules β du pancréas ;
- elles ralentissent le passage des aliments de l'estomac vers l'intestin, l'absorption intestinale du glucose est alors ralentie. Ce qui favorise la diminution de l'appétit.

○ Document 2

Tableau des caractéristiques du diabète de type 2

Profil clinique	Personnes âgées de plus de 40 ans
Mode de vie	Sédentarité
Diagnostic du diabète de type 2	Glycémie à jeun à deux reprises supérieure à 1,26 g/L IMC > 27 (IMC = indice de masse corporelle ; IMC = M/T^2 , T est la taille en m, M la masse corporelle en kg)
Production d'incrétines par les cellules intestinales	Réduite
Production d'insuline	Réduite
Conséquences à long terme et complications possibles	Cécité, insuffisance rénale sévère, maladies cardio-vasculaires

Document 3

Rôle de la molécule « liraglutide » dans la régulation de la glycémie chez les diabétiques de type 2

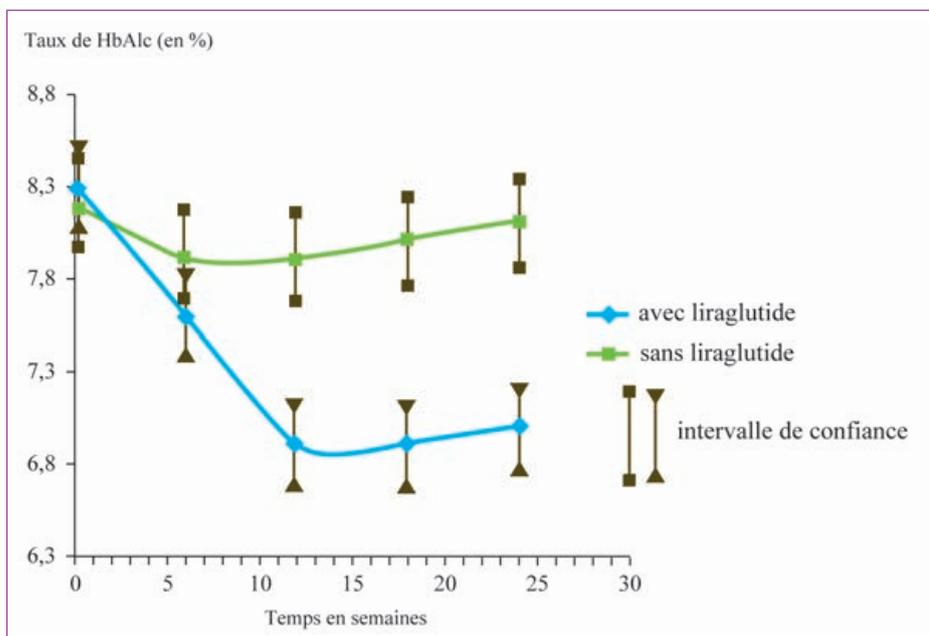
Les incrétines sont rapidement dégradées par des enzymes intestinales.

La molécule « liraglutide » a le même rôle que les incrétines.

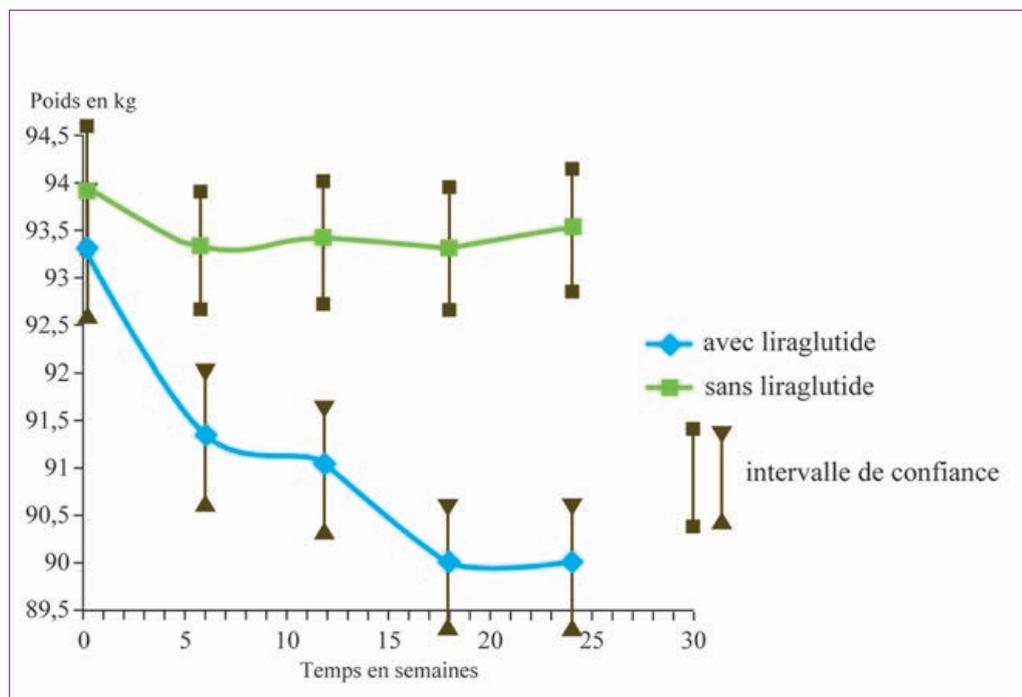
On teste l'effet de la molécule « liraglutide » sur un groupe de patients diabétiques de type 2.

Des analyses de sang et un contrôle de poids sont effectués régulièrement sur ce groupe et un groupe de diabétiques non traités. Les résultats figurent dans les graphiques ci-dessous. HbA_{1c} : hémoglobine glyquée. Son taux constitue un indicateur indirect de la glycémie moyenne des 2 à 3 mois précédant le prélèvement. Le taux moyen en HbA_{1c} chez les personnes saines est compris entre 4 et 6 %.

Variation du taux de HbA_{1c} en fonction du temps chez des personnes diabétiques de type 2



Variation du poids en fonction du temps



Source : d'après scd.unilim.fr/theses-public.

► Comprendre la question

Le sujet porte sur un traitement du diabète de type 2, également appelé diabète non-insulino dépendant. L'objectif est de montrer que le traitement utilisant des molécules appelées liraglutides permet une amélioration de l'état de santé des diabétiques de type 2.

Les principales difficultés du sujet résident dans la mise en relation des informations apportées par les documents et dans la construction du plan de la réponse.

► Procéder par étapes

1^{re} étape : identifier le type de réponse attendue

La réponse attendue comprend une introduction, un développement structuré s'appuyant sur l'exploitation rigoureuse des documents associée à l'utilisation des connaissances et une conclusion. Aucun schéma n'est attendu.

2^e étape : extraire des documents les informations en rapport avec le problème scientifique

3^e étape : construire une réponse structurée mettant en relation les informations issues des documents et des connaissances

Le tableau suivant présente un exemple de démarche construite au brouillon.

4^e étape : rédiger la réponse sur la copie

Parties du problème	Éléments issus des documents	Éléments issus des connaissances
<p>Introduction : En quoi la prise régulière de liraglutides permet d'améliorer l'état de santé des diabétiques de type 2 ?</p>		
<p>Quels sont les effets de la prise régulière de liraglutides ?</p>	<p>Document 2. Diagnostic du diabète de type 2 : glycémie et IMC élevés. Document 3. La prise de liraglutides entraîne une diminution de glycémie et du poids des patients.</p>	
<p>Comment expliquer les effets des liraglutides ?</p>	<p>Document 2. Chez les diabétiques de type 2 : production réduite d'insuline et d'incrétines. Document 3. Les liraglutides ont le même rôle que les incrétines. Document 1. Les liraglutides réduisent la glycémie en stimulant la production d'insuline et favorisent la perte de poids en réduisant l'absorption intestinale.</p>	<p>L'insuline, hormone produite par les cellules β du pancréas, a une action hypoglycémiante. Les glucides alimentaires, hydrolysés lors de la digestion en glucose, sont absorbés au niveau de l'intestin.</p>
<p>Comment les liraglutides améliorent-ils l'état de santé des diabétiques de type 2 ?</p>	<p>Document 2. Complications du diabète de type 2. Document 3. L'action des liraglutides réduit les risques de complications.</p>	<p>Graves complications du diabète de type 2 liées à l'hyperglycémie.</p>
<p>Conclusion</p>		

Le diabète de type 2 est une perturbation de la régulation de la glycémie, caractérisée par une glycémie anormalement élevée et touchant les personnes de plus de 40 ans. Le diabète de type 2 peut être à l'origine de graves complications de santé et affecte un nombre croissant de patients dans le monde. Le contrôle de la glycémie des patients atteints de diabète de type 2 est donc un enjeu thérapeutique majeur dans la prise en charge de cette maladie. Un traitement avec des molécules appelées liraglutides peut être prescrit. En quoi la prise régulière de liraglutides permet d'améliorer l'état de santé des diabétiques de type 2 ? Pour répondre à cette problématique, nous caractériserons d'abord l'effet de la prise de liraglutides sur la glycémie et le poids de patients diabétiques, puis nous expliquerons l'origine des effets constatés et, enfin, nous montrerons que les liraglutides peuvent améliorer l'état de santé générale des patients atteints de diabète de type 2.

Le diagnostic du diabète de type 2 s'effectue chez des individus ayant une glycémie à jeun supérieure à deux reprises à 1,26 g/L et dont l'IMC (indice de masse corporelle) est supérieur à 27 (document 2). La glycémie à jeun des diabétiques de type 2 est supérieure à la valeur normale, qui est de 1 g/L : le diabète de type 2 est donc une perturbation de la régulation de la glycémie. Les diabétiques de type 2 présentent de par leur IMC élevé une tendance marquée à l'obésité.

Quels sont les effets de la prise régulière de liraglutides sur plusieurs semaines chez des diabétiques de type 2 ? On étudie l'évolution de la glycémie moyenne (estimée par la mesure du taux d'hémoglobine glyquée ou HbA_{1c}) et l'évolution du poids chez des diabétiques de type 2 traités avec liraglutides ou non (document 3). Chez des diabétiques non traités par liraglutides, le taux de HbA_{1c} est d'environ 8 % : cette valeur est supérieure à celle des individus non diabétiques, dont le taux de HbA_{1c} est compris entre 4 à 6 %. Cette différence reflète la glycémie élevée des individus diabétiques. Le traitement par liraglutides entraîne une baisse du taux de HbA_{1c}, qui passe de 8 % au début du traitement à 7 % environ après 10 semaines de traitement. Cette valeur reste à peu près stable lorsque le traitement est poursuivi sur plusieurs dizaines de semaines.

Le poids moyen des diabétiques de type 2 est d'environ 93,5 kg. Ce poids reste stable chez les diabétiques de type 2 non traités alors qu'il diminue avec la prise de liraglutides : le poids des patients traités passe d'environ 93,5 kg au début du traitement à 90 kg après 18 semaines de traitement. La perte de poids est d'abord régulière pendant les 18 premières semaines de traitement puis le poids se stabilise à 90 kg en moyenne. Ainsi, chez les diabétiques de type 2, on met en évidence que la prise régulière de liraglutides sur plusieurs semaines entraîne une diminution de la glycémie et du poids des patients. Comment expliquer alors l'effet des liraglutides chez les diabétiques de type 2 ?

Les diabétiques de type 2 se caractérisent par une production réduite d'insuline, hormone pancréatique hypoglycémiante, et d'incrétines, hormones produites par certaines cellules intestinales en présence de glucose (document 1). Or, les liraglutides ont le même rôle que les incrétines (document 3). En effet, les liraglutides, comme les incrétines, stimulent l'activité des cellules β du pancréas responsables de la sécrétion d'insuline dont l'action est hypoglycémiante (document 1). Ainsi, la prise régulière de liraglutides entraîne une baisse de la glycémie moyenne comme observé dans l'étude clinique (document 3). De plus, les liraglutides ralentissent le passage des aliments de l'estomac vers l'intestin et l'absorption intestinale du glucose (document 1), ce qui diminue l'appétit et par conséquent la prise de poids (document 3). Quel est alors l'effet de la prise régulière

de liraglutides sur l'état de santé des diabétiques de type 2 ?

Les complications possibles du diabète de type 2 sont en grande partie liées à l'accumulation de glucose au niveau des organes comme les yeux (risque de cécité), les reins (risque d'insuffisance rénale) ou le système cardio-vasculaire (maladies cardio-vasculaires) (document 2). La prise régulière de liraglutides, en entraînant une baisse de la glycémie, réduit les risques de survenue de ces complications. De plus, le surpoids des diabétiques de type 2 favorise un mauvais état de santé générale. La perte de poids des diabétiques de type 2 sous liraglutides contribue à l'amélioration de leur état général de santé.

Ainsi, chez les diabétiques de type 2, la prise régulière de liraglutides entraîne une baisse de la glycémie en stimulant la production d'insuline et une perte de poids en réduisant l'absorption intestinale, ce qui contribue à améliorer l'état de santé des patients. Les liraglutides constituent donc une thérapie antidiabétique particulièrement intéressante.