

# annabac

SUJETS & CORRIGÉS

2020

## SVT T<sup>le</sup>S

SPÉCIFIQUE  
& SPÉCIALITÉ

✓ 62 sujets dont **BAC 2019**

✓ Les conseils du correcteur

✓ Des corrigés détaillés

✓ Des fiches mémo

+ Un planning  
de révisions



**GRATUIT** : des ressources interactives  
et des parcours de révision  
sur [annabac.com](http://annabac.com)



موقع مراجعة باكالوريا  
[BAC.MOURAJAA.COM](http://BAC.MOURAJAA.COM)



bac Math



# annabac

**SUJETS** et **CORRIGÉS** 2020

## Sciences de la vie et de la Terre T<sup>le</sup> S spécifique & spécialité

Jacques Bergeron  
Agrégé de l'Université  
Jean-Claude Hervé  
Agrégé de l'Université

© Hatier, Paris août 2019 ISSN 1168-3775



موقع مراجعة باكالوريا  
[BAC.MOURAJAA.COM](http://BAC.MOURAJAA.COM)



bac Math

# Annabac, mode d'emploi

## Que contient cet Annabac ?

Tous les outils nécessaires pour se préparer de manière efficace à l'épreuve de SVT du bac 2020.

En premier lieu, des **sujets corrigés tombés lors des épreuves du bac 2019**, mais également :

- des sujets complémentaires ;
- des conseils de méthode ;
- les repères clés du programme.

### ► Une large sélection de sujets d'écrit

L'ouvrage comprend les **sujets de la dernière session** et des sujets complémentaires. Il regroupe à la fois des sujets complets et des exercices classés par thème, de manière à couvrir tout le programme. Il s'efforce de représenter de manière équilibrée **tous les types** d'exercices qui peuvent être proposés dans le cadre de l'épreuve.

### ► Également des QCM

Nous vous proposons des QCM afin que vous puissiez vous entraîner à ce type d'exercice, **fréquent dans les sujets de bac**.

### ► Comment les sujets sont-ils traités ?

Les auteurs de cet ouvrage ont eu à cœur de vous aider à bien interpréter un sujet et « fabriquer » une bonne copie. C'est pourquoi ils ont associé à chaque énoncé :

- une **explication du sujet** et des aides pour construire la réponse (rubrique « Les clés du sujet ») ;
- un **corrigé clairement structuré**, avec des conseils et des commentaires quand c'est nécessaire.

## Comment utiliser l'ouvrage ?

### ► À l'aide du sommaire

Dès le mois de décembre, **à l'occasion d'un contrôle ou d'un examen blanc**, n'hésitez pas à vous familiariser avec les types d'exercices proposés au bac en traitant ceux correspondant aux **thèmes du programme à réviser**. Le sommaire vous aidera à les sélectionner.

Travaillez-les le plus possible, dans un premier temps, avec la seule aide des « Clés du sujet » ; puis comparez ce que vous avez fait avec le corrigé proposé.



## ► À l'aide du planning de révisions

La date de l'examen se rapproche. Grâce à la rubrique « Votre planning de révisions », choisissez, **en fonction du temps qui vous reste**, les sujets qui vous permettront d'aborder l'épreuve dans les meilleures conditions possible.

## Et l'offre privilège sur annabac.com ?

L'achat de cet ouvrage vous permet de bénéficier d'un **accès gratuit\*** aux ressources d'annabac.com : fiches de cours, podcasts, quiz interactifs, exercices, sujets d'annales...



Pour profiter de cette offre, rendez-vous sur [www.annabac.com](http://www.annabac.com), dans la rubrique « Vous avez acheté un ouvrage Hatier ? ». La saisie d'un mot clé du livre (lors de votre première visite) vous permet d'activer votre compte personnel.

\* Selon conditions précisées sur [www.annabac.com](http://www.annabac.com)

## Qui a fait cet Annabac ?

- L'ouvrage a été écrit par **deux enseignants de SVT** : Jacques Bergeron et Jean-Claude Hervé.
- Les contenus ont été préparés par plusieurs types d'intervenants :
  - des éditeurs : Grégoire Thorel et Anaïs Goin, assistés de Cloé Bineau et de Luce Valli ;
  - une correctrice : Hannah-Belle Abdullah ;
  - des graphistes : Tout pour plaire et Dany Mourain ;
  - des maquettistes : Hatier et Nadine Aymard ;
  - des dessinateurs : Philippe Bouillon (Illustratek) et Bernard Sullerot ;
  - une illustratrice : Juliette Baily ;
  - un compositeur : STDI.



# SOMMAIRE

- **Votre planning de révisions** .....8
- **12 sujets supplémentaires sur annabac.com** .....10

## I. L'épreuve en 12 questions-réponses

- **Le programme** .....12
- **L'épreuve** .....14
- **Nos conseils de méthode** .....18

## II. Préparer l'épreuve écrite

### Sujet complet de France métropolitaine 2019

- 1 Collision continentale : formation d'un relief positif et d'une racine crustale (I) .....22
- 2 La robe des chevaux et le brassage interchromosomique (II-1) .....27
- 3 Une toxine d'araignée contre le botulisme (II-2) .....31
- 4 Facteurs contribuant à l'apparition d'un diabète de type 2 (II-2) .....38

### Sujets d'enseignement spécifique classés par thèmes

#### GÉNÉTIQUE ET ÉVOLUTION

##### Brassage génétique et diversité génétique

- 5 Diversification des génotypes au cours des générations (I)  
Amérique du Nord, juin 2018. ....46
- 6 Des mécanismes de diversification génétique (I)  
Pondichéry, mai 2018. ....51
- 7 Des hommes sans chromosome Y (I) • Afrique, juin 2016. ....59
- 8 Des huîtres consommables toute l'année (II-1) • Afrique, juin 2018 ....65
- 9 Transmission de deux caractères chez la drosophile (II-1)  
Polynésie française, juin 2017 .....69



## De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité

- 10** Les mécanismes participant à l'évolution de la biodiversité (I)  
France métropolitaine, septembre 2017 ..... 73
- 11** Évolution de la population de moustiques du Languedoc (II-2)  
Polynésie, juin 2018 ..... 79
- 12** Origine de la réduction (ou disparition) des membres  
chez les serpents (II-2) • France métropolitaine, juin 2018 ..... 85

## Un regard sur l'évolution de l'Homme

- 13** Une nouvelle espèce d'hominidé : l'*Homo naledi* (II-2)  
Pondichéry, avril 2017 ..... 92

## La vie fixée des plantes, résultat de l'évolution

- 14** Le contournement des contraintes de la vie fixée des plantes (I)  
Asie, juin 2017 ..... 102
- 15** Influence de la lumière sur la reproduction des plantes (II-1)  
France métropolitaine, juin 2018 ..... 109
- 16** Gènes du développement des structures des fleurs (II-2)  
Nouvelle-Calédonie, mars 2018 ..... 113

## LE DOMAINE CONTINENTAL ET SA DYNAMIQUE

- 17** La croûte continentale, subduction et volcanisme explosif (I)  
Polynésie, juin 2018 ..... 120
- 18** Formation et destruction des reliefs des chaînes de montagnes (I)  
France métropolitaine, juin 2018 ..... 126
- 19** Le domaine continental, sa dynamique et la géothermie (I)  
Amérique du Nord, juin 2016 ..... 133
- 20** La formation des monts Zagros (II-1) • France métropolitaine,  
septembre 2017 ..... 140
- 21** Les Pénitents des Mées (II-2) • Asie, juin 2016 ..... 143
- 22** Métamorphisme et magmatisme des roches  
de la région de Gavarnie (II-2) • France métropolitaine, juin 2017 ..... 152

## GÉOTHERMIE ET PROPRIÉTÉS THERMIQUES DE LA TERRE

- 23** Subduction et géothermie (II-2) • France métropolitaine, septembre 2015 ..... 160

## LA PLANTE DOMESTIQUÉE

- 24** Obtention d'une variété de blé tendre (II-2) • Amérique du Nord,  
juin 2017 ..... 165



## QUELQUES ASPECTS DE LA RÉACTION IMMUNITAIRE

---

<b>25</b> La myasthénie (I) • Afrique, juin 2017. . . . .	170
<b>26</b> Une nouvelle arme contre le staphylocoque doré (II-1) Asie, juin 2017. . . . .	175
<b>27</b> La coopération cellulaire entre macrophages et lymphocytes (II-2) Amérique du Nord, juin 2018. . . . .	182
<b>28</b> Une molécule anti-inflammatoire de nouvelle génération (II-2) Pondichéry, mai 2018. . . . .	188
<b>29</b> Le syndrome de LAD : un cas clinique de dysfonctionnement de la réaction inflammatoire aiguë (II-2) • Afrique, juin 2018. . . . .	195

## NEURONE ET FIBRE MUSCULAIRE :

### LA COMMUNICATION NERVEUSE

---

<b>30</b> Mécanismes nerveux impliqués dans un mouvement volontaire (I) France métropolitaine, juin 2017 . . . . .	200
<b>31</b> Conséquences de la mutation du gène <i>FUS</i> sur la motricité (II-1) Polynésie française, juin 2018 . . . . .	206
<b>32</b> Étude d'un dysfonctionnement synaptique (II-2) Amérique du Nord, juin 2016. . . . .	211

## Sujets d'enseignement de spécialité classés par thèmes

### ÉNERGIE ET CELLULE VIVANTE

---

<b>33</b> Mécanismes de résistance au froid du chou puant (II-2) Amérique du Nord, juin 2018. . . . .	217
<b>34</b> Une photosynthèse particulière chez le puceron orange (II-2) Asie, juin 2018. . . . .	224

### ATMOSPHÈRE, HYDROSPHÈRE, CLIMAT : DU PASSÉ À L'AVENIR

---

<b>35</b> Des climats anciens en Afrique intertropicale (II-2) France métropolitaine, juin 2017 . . . . .	232
<b>36</b> La transformation de l'atmosphère terrestre (II-2) • Afrique, juin 2017	239

### GLYCÉMIE ET DIABÈTE

---

<b>37</b> Le GABA, espoir de traitement pour les diabétiques de type 1 (II-2) France métropolitaine, juin 2018 . . . . .	247
<b>38</b> Obésité et diabète de type 2 (II-2) • Amérique du Sud, novembre 2017	254



### III. S'entraîner aux QCM

39	Tout le programme . . . . .	264
40	Méiose dans une cellule d'anthere de lys • Fesic 2013 . . . . .	276
41	Les couleurs du pelage des chats « tortie » • Fesic 2017 . . . . .	278
42	Le déterminisme du sexe chez les oiseaux • Fesic 2016 . . . . .	280
43	Biologie du lichen • Fesic 2016 . . . . .	282
44	Structure d'une fleur de lys • Fesic 2017 . . . . .	284
45	Les métagabbros • Fesic 2017 . . . . .	286
46	Densité de la lithosphère et subduction • Fesic 2017 . . . . .	288
47	Le phénotype immunitaire et son évolution • Fesic 2017 . . . . .	290
48	Effet du curare sur le système nerveux • Fesic 2016 . . . . .	293
49	Aspects histologiques du système nerveux • Fesic 2016 . . . . .	296

### IV. Préparer l'épreuve pratique

50	Utilisation du glucose et respiration des levures • Sujet zéro . . . . .	300
----	--	-----

### V. La boîte à outils

■	Schémas et documents clés . . . . .	308
■	Lexique . . . . .	328



# Votre planning de révisions

J – 30 à J – 15

**Vous débutez vos révisions  
un mois avant l'épreuve.**



**Traitez un exercice par thème clé**

N°	Thème du programme
5	Génétique et diversification
14	La vie fixée des plantes
17	Domaine continental et géothermie
25	La réaction immunitaire
30	La communication nerveuse
33	Énergie et cellule vivante (spécialité)
37	Glycémie et diabète (spécialité)

**Vous débutez vos révisions  
deux semaines avant l'épreuve.**

## Réviser dans des conditions optimales !

### ► Avant tout, organisez-vous

Sur une grande feuille, construisez un tableau, avec : à l'horizontale, les **plages de révision** qui vous restent et, à la verticale, les **différentes matières** à réviser. Associez à chaque case un contenu.

### ► Mettez-vous dans les conditions de l'examen

Dans les dernières semaines de révisions, il est très important de « plancher » sur de **vrais sujets** (3 exercices). Essayez de travailler **par tranches d'au moins une heure, sans pause**.

### ► Travaillez en équipe

Vous pouvez aussi organiser des **séances de révisions** avec des amis, afin de partager vos connaissances et vos techniques de travail, et vous soutenir le moral.

Bonne chance !



J – 15 à J – 7

J – 7 à J

### Consolidez vos méthodes

N°	Point de méthode
23	Analyser un graphe
9	Résoudre un QCM
17	Réaliser un schéma
3	Organiser une réponse
16	Exploiter un modèle
2	Argumenter autour d'une hypothèse
27	Utiliser la méthode comparative

### Dernière ligne droite

- Vous maîtrisez désormais les connaissances et les méthodes nécessaires pour réussir.
- Complétez vos révisions avec ces 2 sujets complets :

N°	17	2	27	37
N°	7	20	3	35

### Parcourez le programme

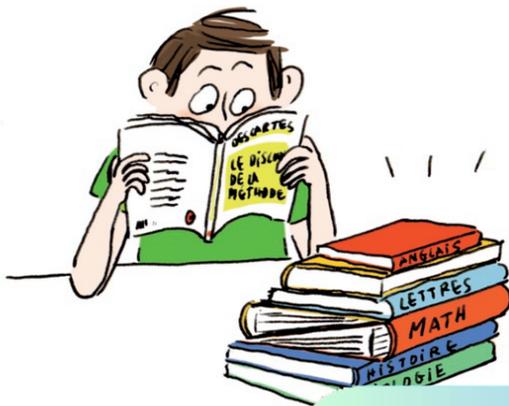
N°	Thème du programme
7	Génétique
10	Diversification génétique
15	La vie fixée des plantes
19	Géologie
29	Immunologie
39	Tout le programme

### Dernière ligne droite

- Vous avez revu les grands thèmes du programme.
- Entraînez-vous désormais sur ces 2 sujets complets :

N°	6	26	21	36
N°	1	15	11	33

**Vous débutez vos révisions  
une semaine avant l'épreuve.**



### Droit au but !

- Plus qu'une semaine, il va falloir mettre les bouchées doubles !
- Travaillez sur ces 2 sujets complets dans les conditions de l'examen, en ne lisant le corrigé qu'après avoir traité le sujet au brouillon :

N°	18	8	22	34
N°	6	20	12	4





Sur [www.annabac.com](http://www.annabac.com)

retrouvez les corrigés de 12 sujets supplémentaires

Tapez le sujet dans le moteur de recherche du site.

D'un clic, vous affichez le corrigé.



## 12 sujets en accès gratuit

### Enseignement spécifique

**51 Génétique et évolution** • L'origine virale du gène de la syncytine (II-2)

**52 Génétique et évolution** • Notions d'espèce et de gènes du développement (II-2)

**53 Le domaine continental et sa dynamique**  
Magmatisme en zone de subduction (II-1)

**54 Le domaine continental et sa dynamique**  
La Sierra Nevada, ancienne zone de subduction

**55 Géothermie et propriétés thermiques de la Terre**  
Enjeux planétaires contemporains (I)

**56 La planète domestiquée** • De nouvelles variétés de tomates (II-2)

**57 Quelques aspects de la réaction immunitaire**  
Une molécule anti-inflammatoire de nouvelle génération

**58 Neurone et fibre musculaire : la communication nerveuse**  
Atropine et dilatation de la pupille (II-1)

### Enseignement de spécialité

**59 Énergie et cellule vivante** • La fabrication du vinaigre de cidre (II-2)

**60 Atmosphère, hydrosphère, climat : du passé à l'avenir**  
Le blanchissement des récifs coralliens (II-2)

**61 Atmosphère, hydrosphère, climat : du passé à l'avenir**  
La disparition des mammoths laineux (II-2)

**62 Glycémie et diabète** • Origine d'un diabète de type 2 (II-2)



# I. L'épreuve en 12 questions-réponses

- ▶ Le programme .....12
- ▶ L'épreuve .....14
- ▶ Nos conseils de méthode .....18



# Le programme

Le nouveau programme de SVT en terminale S est défini dans le *Bulletin officiel spécial n° 8* du 13 octobre 2011.

## 1. Quels sont les grands axes du nouveau programme ?

• Le programme de l'enseignement spécifique est découpé en trois grands thèmes :

- la Terre dans l'Univers, la vie, l'évolution du vivant (**thème 1**) ;
- les enjeux planétaires contemporains (**thème 2**) ;
- le corps humain et la santé (**thème 3**).

Ce découpage n'est pas fondamental lors de l'épreuve du bac car une question peut mêler les notions de **thèmes différents**. Néanmoins, l'intitulé de ces thèmes montre que l'accent est mis sur les questions d'actualité : les approches scientifiques proposées permettent de les aborder de façon rigoureuse, notamment dans l'exercice 2 de la partie 2.

• Dans le **thème 1**, une partie importante du programme est consacrée aux mécanismes génétiques de diversification du vivant, et donc à l'évolution. Cela implique de maîtriser les notions essentielles sur l'**expression des gènes** vues en première et sur les **mutations** et leurs conséquences. Quant au regard sur l'évolution humaine, il nécessite la maîtrise de notions vues en classe de troisième et de seconde, en particulier la façon de traduire les relations de parenté entre les êtres vivants.

• Dans ce **thème 1**, une place importante est consacrée à la **géologie**. En classe de première, l'accent a été mis sur la dynamique de la lithosphère océanique. En terminale, on aborde celle de la lithosphère continentale, notamment la formation des chaînes de montagnes, ce qui nécessite de maîtriser les idées fondamentales sur la **tectonique des plaques**.

• Cette partie géologie est complétée dans le **thème 2** par l'étude de la Terre en tant que machine thermique et par l'exploitation par l'Homme de l'énergie interne du globe (**géothermie**).

• L'étude de la biologie des **plantes à fleurs** dans une perspective évolutive est une nouveauté du programme. Il s'agit de découvrir les caractéristiques de la structure et de la reproduction des plantes qui sont acquises au cours de l'évolution. Ainsi, dans le **thème 2**, on envisage le principe des techniques qui permettent à l'homme de transformer une plante sauvage en une plante cultivée aux caractères avantageux pour lui.



- Les sujets se rapportant à la santé (**thème 3**) ont pour support, d'une part l'**immunologie** (immunités innée et adaptative) et, d'autre part, la **neurophysiologie** qui mobilise les notions de base sur les éléments d'un réflexe vues en classe de seconde.

### ► Qu'est-ce qui est difficile dans ce programme ?

- Chaque thème du programme contient des difficultés qui lui sont spécifiques, mais le plus difficile est la variété des sujets abordés. De plus, comme l'étude du programme s'effectue à travers des activités pratiques et des analyses de documents divers et parfois complexes, il peut être difficile de bien s'y retrouver et de bien s'approprier les **notions fondamentales de chaque thème**.
- La difficulté est donc de bien **hiérarchiser les connaissances** (distinguer ce qui est fondamental ou non) et repérer les **types de raisonnement** spécifiques à chaque sujet.

## 2. Que font les élèves en spécialité ?

- Le programme de spécialité est organisé autour des mêmes thèmes que le programme spécifique. Mais les sujets abordés changent :
  - l'énergie et la cellule vivante (thème 1) ;
  - l'atmosphère, l'hydrosphère, les climats : du passé à l'avenir (thème 2) ;
  - la glycémie et le diabète (thème 3).
- L'évaluation de cet enseignement s'effectue uniquement à travers l'exercice de type 2 de la partie 2 et l'évaluation des compétences expérimentales. Par conséquent, **les activités pratiques et le travail en autonomie** sont davantage privilégiés qu'en enseignement spécifique.



# L'épreuve

L'épreuve de SVT au baccalauréat est définie dans le *Bulletin officiel spécial* n° 7 du 6 octobre 2011.

## 3. En quoi consiste l'épreuve ?

- L'épreuve comporte **deux parties** :
  - une partie écrite (**3 h 30**), comptant pour 16 points sur 20 ;
  - une partie pratique d'évaluation des compétences expérimentales (**1 h**), comptant pour 4 points sur 20. Cette épreuve a lieu au cours du troisième trimestre, dans votre lycée.
- L'**épreuve écrite** est divisée en **deux parties** :
  - la partie I, notée sur 8 points, permet d'évaluer la maîtrise des connaissances acquises ;
  - la partie II permet d'évaluer la pratique du raisonnement scientifique et de l'argumentation ; elle est subdivisée en deux exercices, le premier (II-1) noté sur 3 points et le second (II-2), sur 5 points.
- L'épreuve est notée sur un total de 20 points. Elle est affectée d'un **coefficient 8** pour les élèves en enseignement de spécialité et d'un **coefficient 6** pour les autres.

## 4. Quels types de questions sont posés dans la partie I de l'épreuve écrite ?

- Le questionnement peut prendre des **formes différentes** :
  - celle d'une question de synthèse unique ;
  - celle d'une question de synthèse associée à un QCM ;
  - celle d'un QCM seul.
- Quelle que soit la forme, il peut s'appuyer ou non sur un ou plusieurs documents.

### ► Quelques précisions sur les QCM de la partie I

- Ces QCM sont axés sur les connaissances. Ils se présentent :
  - soit comme un **complément à la question de synthèse** ;
  - soit comme **constituant unique** de la partie I.
- Un QCM est constitué d'une ou plusieurs questions appelées **items**.
- Chacun des items comprend une consigne, par exemple « Cochez uniquement la proposition exacte » ou « Pour chaque proposition, dites si elle est vraie ou si elle est fausse ».



- Un item débute toujours par une **amorce** qui conduit à des **propositions** relatives à cette amorce, indépendantes les unes des autres et, généralement, en nombre réduit (4 le plus souvent). L'ordre des propositions ne préjuge en aucun cas de la bonne réponse.
- Si l'amorce s'appuie sur un document, celui-ci est obligatoirement le support des propositions qui portent directement sur les éléments de ce document.
- Les propositions sont généralement sans ambiguïté, en particulier lorsqu'il n'y a qu'une réponse exacte. Les réponses fausses (appelées distracteurs) peuvent paraître plausibles, mais il y a toujours dans leur libellé quelque chose d'inexact. Pour être quasi sûr de faire le bon choix, commencez par **éliminer les affirmations dans lesquelles vous avez repéré une erreur**, et qui sont donc fausses.
- Soyez attentif à la formulation (présence de mots tels que « **toujours** », « **la seule** », etc.) et à la précision du vocabulaire, et méfiez-vous des évidences apparentes.

## 5. Quelles sont les caractéristiques du premier exercice de la partie II ?

- Il est conçu dans le but d'évaluer votre **capacité à raisonner** à partir d'un nombre réduit de documents (le plus souvent un seul), dans le cadre d'un problème scientifique.
- Il peut se présenter sous la forme d'une **question ouverte** (c'est-à-dire sans **guide** pour l'exploitation du document) : c'est à vous d'en extraire les informations nécessaires à la résolution du problème.
- Il peut également se présenter sous la forme d'un **QCM**, qui sera construit suivant les mêmes modalités que dans la première partie (1 amorce et 4 propositions) mais toujours en lien avec le ou les documents, et **avec une part de raisonnement plus importante**. Vous ne pourrez en effet valider les propositions en faisant seulement appel à vos connaissances comme dans la partie I.

## 6. En quoi consiste le deuxième exercice de la partie II ?

- Si vous n'avez suivi que l'enseignement spécifique, il peut porter sur la même partie du programme que l'exercice II-1. Si vous êtes en enseignement de spécialité, cet exercice porte sur l'une des trois parties du programme de spécialité.



- Il permet d'évaluer votre capacité à pratiquer une démarche dans le cadre d'un **problème scientifique** à partir de l'exploitation d'un ensemble de documents et de vos connaissances. Le questionnement vous conduit à choisir et à exposer une **démarche personnelle**, à élaborer une **argumentation** et à proposer une **conclusion**.
- Contrairement au premier exercice de la partie II, cet exercice II-2 ne peut jamais se présenter sous la forme d'un QCM, et il est **basé obligatoirement sur plusieurs documents** (en général trois). Ces documents peuvent s'éloigner des choses vues en classe mais impliquent la mobilisation de connaissances acquises durant l'année de terminale.

### ► Peut-on faire une impasse dans ses révisions ?

- Évidemment, non. En premier lieu, parce qu'un **même exercice** peut porter sur **plusieurs parties du programme**. Par exemple, un exercice peut porter à la fois sur les caractères liés à la vie fixée des plantes et sur la plante domestiquée.
- Même si vous n'aimez pas la **géologie**, ne sacrifiez pas cette partie du programme dans vos révisions. Un sujet comprend en général une question se rapportant à l'un des deux thèmes de géologie du programme.

## 7. Comment se déroule l'épreuve pratique d'évaluation des compétences expérimentales ?

- Durant l'année, vous réalisez avec votre professeur toute une série d'activités pratiques qui comportent **l'apprentissage de diverses techniques** : utilisation du microscope, dissections, utilisation de logiciels...
- Au **début du troisième trimestre**, les professeurs de votre lycée choisissent un certain nombre de sujets d'évaluation parmi les 25 proposés, à cette date, par le ministère de l'Éducation nationale. Ces sujets peuvent être différents de ceux réalisés en classe durant l'année mais feront appel aux techniques que vous aurez acquises.
- Ce ne sont donc pas les travaux réalisés en classe qu'il importe de retenir mais leur intérêt pratique et les techniques acquises grâce à eux.

Tous les sujets proposés comportent quatre rubriques :

- **1. Comprendre ou proposer une démarche de résolution** : avant toute manipulation vous devez indiquer, à partir des éléments qui vous sont fournis, la démarche expérimentale que vous pensez suivre ou comprendre celle qui vous est proposée.



- ▶ **2. Utiliser des techniques et gérer le poste de travail** : vous devez suivre le protocole expérimental proposé en 1. en respectant les règles de sécurité, les précautions de manipulation du matériel et le soin général. Attention ! Vous serez jugé sur la manière de gérer votre manipulation. À la fin de celle-ci, n'oubliez pas de ranger avec soin le matériel et de laisser, dans la mesure du possible, le poste de travail dans l'état où vous l'avez trouvé.
- ▶ **3. Communiquer à l'aide de modes de représentation** : ceux-ci varient selon les sujets. Vous pourrez utiliser une rédaction, un schéma, un graphe...
- ▶ **4. Appliquer une démarche explicative** : vous devez exploiter vos résultats expérimentaux dans un exposé aboutissant à la réponse à la question qui a motivé votre démarche.

## 8. En quoi consiste l'épreuve orale de contrôle ?

- C'est une épreuve de « rattrapage » que vous ne passerez que si votre moyenne générale à la fin des épreuves écrites et pratiques est **égale ou supérieure à 8 et inférieure à 10**.
- Si vous avez choisi l'épreuve orale de SVT, c'est pour avoir une meilleure note qu'à l'écrit (la note obtenue à l'oral remplace, si elle est meilleure, celle de l'écrit). Le coefficient est intéressant car tout point gagné est multiplié par 6 ou 8 ; mais il faut bien réfléchir avant de vous décider : si vous avez eu une note correcte à l'écrit il vous sera peut-être difficile de faire mieux (il est plus facile de passer de 6 à 10 que de 14 à 15) !
- L'épreuve qui dure **20 minutes** est précédée d'un temps de préparation de 20 minutes. Vous tirerez au sort un sujet comportant deux questions, relatives à deux parties différentes du programme et vous devrez traiter les **deux questions**. Ces questions portent exclusivement sur le programme du tronc commun si vous n'avez pas choisi l'enseignement de spécialité. Dans le cas contraire, l'une des deux questions porte sur l'un des trois thèmes de spécialité.
- Les sujets comportent des **documents** choisis parmi ceux que les professeurs utilisent durant l'année. Une importance égale est attribuée à l'évaluation des connaissances et à celle des capacités mises en jeu (réflexion, raisonnement...).
- Vous trouverez sur le site de l'académie de Grenoble une **banque de sujets d'oral** qui vous permettra de préparer cette épreuve, si nécessaire, en en connaissant les exigences.



# Nos conseils de méthode

## 9. Comment bien se préparer à l'épreuve tout au long de l'année ?

- Le moyen le plus simple est bien sûr de fournir un travail régulier, afin qu'au moment des révisions, vous n'ayez qu'à vous remettre en tête les notions déjà maîtrisées au cours de l'année. Pour cela, il est bon de faire le point la veille de chaque cours afin de suivre avec profit ce dernier.
- À la fin d'un thème, faites une **liste des mots clés**, en vérifiant avec le **lexique de l'Annabac** leur signification. Traitez également les sujets de l'Annabac qui se rapportent au thème en question.
- Dans la rubrique « Votre planning de révisions », vous trouvez des propositions pour réviser efficacement en fin d'année.

### ► Comment utiliser cet Annabac ?

- Bien entendu, vous ne devez pas vous contenter de lire le corrigé d'un sujet, ni essayer de l'apprendre par cœur afin de pouvoir le reproduire si une question semblable est posée le jour de l'examen.
- Lisez attentivement la rubrique « **Les clés du sujet** », qui vous aide à bien cibler les questions posées, et essayez de les traiter comme si vous étiez à l'examen. Notez les points où vous avez éprouvé des difficultés. Ensuite, comparez votre réponse au corrigé de l'Annabac, en repérant les points semblables et **les idées que vous n'avez pas développées**.
- Pour une question de type 1, repérez aussi les développements que vous avez faits et qui ne sont pas dans le corrigé : il y a alors de fortes chances que ce soit du hors-sujet.
- Quant aux **QCM**, ne vous limitez pas à identifier la réponse exacte. Recherchez aussi pourquoi les autres sont fausses : c'est un moyen de s'approprier au mieux le thème qui s'y rapporte.

## 10. Comment bien utiliser le temps de l'épreuve ?

- Vous disposez de **3 h 30**. Cela paraît beaucoup, mais ce n'est pas le cas : les sujets comportent souvent des textes assez longs d'où vous devez extraire les informations utiles, ce qui exige du temps.
- La situation est d'ailleurs différente suivant que l'épreuve comporte ou non des **QCM**. **Commencez par ceux-ci si le sujet en contient**. Sous prétexte que les réponses sont rapides à faire, on a tendance à y répondre vers la



fin de l'épreuve. C'est une erreur. Vous avez plus de chances de répondre correctement, si vous prenez le temps de les aborder en suivant la méthode indiquée précédemment.

- Si la question de la partie 1 est une **synthèse**, prenez le temps de la **préparer au brouillon**. Ne la rédigez pas entièrement sur votre brouillon, mais prévoyez l'introduction, les titres, l'idée directrice des différents paragraphes et la conclusion. Si on vous demande des schémas, réalisez-les avec soin, et n'oubliez pas de leur donner un titre et une légende. Globalement, il faut consacrer un peu plus d'**1 h 30** à la question de synthèse, et ce d'autant plus qu'elle est notée sur 8 points, alors que les exercices de la deuxième partie sont sur 3 et 5 points.
- Le deuxième exercice de la partie II comprend plusieurs documents, dont certains sont parfois assez longs à analyser. Commencer par cet exercice serait une erreur : vous risquez d'y consacrer trop de temps. Il est plus judicieux de le **traiter en dernier** : même si vous n'exploitez pas complètement les documents, vous pourrez assez facilement assurer un minimum de 2 ou 3 points sur 5.

## 11. Comment traiter la question de synthèse dans la partie I ?

- Il s'agit de faire un exposé de connaissances qui doit comporter :
  - une introduction ;
  - un **développement structuré** en un petit nombre de paragraphes, chacun matérialisé par un titre ;
  - enfin une conclusion-bilan.
- La question vous précise si un ou plusieurs **schémas** sont exigés. Il faut alors prendre le temps de les réaliser avec soin afin de montrer visuellement au correcteur que vous avez compris, même si votre exposé écrit présente, par ailleurs, des déficiences. Si on ne vous demande pas de schémas, vous pouvez en faire malgré tout ; cela sera apprécié... s'ils apportent quelque chose à votre démonstration et révèlent une compréhension correcte du sujet.
- Il s'agit donc de présenter un enchaînement logique de vos connaissances aboutissant à une **réponse argumentée à la question posée**. Il ne vous est pas demandé de refaire les démonstrations, expérimentales ou non, qui ont permis d'établir ces connaissances.

## 12. Comment réussir l'exercice II-2 ?

- L'exercice 2 de la partie II propose en général une **réflexion sur un problème de société** et s'appuie sur un **dossier de plusieurs documents**, au minimum



trois. Le support de ces documents vous est assez souvent inconnu : il peut s'agir aussi bien de résultats expérimentaux de chercheurs que d'articles de vulgarisation scientifique, mais les notions sous-jacentes sont relatives à votre programme.

- Sans être guidé par un questionnement précis, vous devez **extraire de chaque document les informations utiles** pour résoudre la problématique de l'exercice, les exploiter grâce à vos connaissances et les relier entre elles en une **synthèse cohérente** débouchant sur la résolution du problème posé.
- Soyez vigilants : les documents, en particulier lorsqu'il s'agit d'articles de presse, contiennent souvent des informations sans relation directe avec la problématique. Or le sujet précise toujours qu'« **aucune étude exhaustive des documents n'est attendue** » : n'utilisez que les éléments qui vous aident à résoudre le problème.
- Pour aborder cet exercice, la première chose à faire est de bien vous imprégner de la **problématique**, puis de **lire l'ensemble des documents** afin de vous faire une idée globale de la façon dont vous allez les exploiter. Cela est particulièrement nécessaire lorsque le support vous est inconnu. Analysez les documents un par un et notez au **brouillon** les informations pertinentes ainsi que les conclusions que vous tirez de chacun d'eux.
- Réfléchissez alors à la façon logique dont ces conclusions s'articulent, en pensant aux aspects sur lesquels vous avez besoin d'introduire des connaissances pour les compléter. Cela constituera alors le **plan de votre exposé**. Il ne vous reste plus qu'à rédiger votre devoir, sans oublier la conclusion qui répond à la problématique de l'exercice et peut se traduire par un schéma bilan.

### ► Les critères de l'évaluation

Ils sont sensiblement les mêmes pour la question de synthèse et pour l'exercice 2 de la partie II.

- La problématique doit être clairement présentée et montrer que le sujet a été compris.
- Les éléments scientifiques issus de vos connaissances personnelles ou des documents doivent être complets et pertinents.
- Le raisonnement scientifique doit apparaître clairement. Il doit témoigner d'une réflexion logique et cohérente et mettre en évidence les relations entre les différents arguments utilisés.
- Une attention est apportée à l'expression écrite (rédaction, syntaxe, orthographe, connecteurs logiques, etc.) et à la réalisation d'éventuels schémas (clarté, présence d'un titre et d'une légende, etc.).



## II. Préparer l'épreuve écrite



## Collision continentale : formation d'un relief positif et d'une racine crustale

► À partir de vos connaissances, expliquer les phénomènes qui aboutissent lors d'une collision continentale à la formation d'un relief positif et d'une racine crustale importante.

*L'exposé devra être structuré avec une introduction et une conclusion et pourra être accompagné de schémas.*

### LES CLÉS DU SUJET

#### ■ Comprendre le sujet

- Le sujet est très proche de la première partie du sujet de 2018 : ce n'est pas parce qu'un thème est « tombé » une année qu'il ne pourra pas servir de support à une question l'année suivante.
- Le sujet indique « lors d'une collision ». Il ne s'agit donc pas de traiter les diverses étapes de l'histoire d'une chaîne de collision mais de cibler ce qu'il se passe au cours de la collision continentale, étape qui succède à la subduction océanique. Il faut préciser comment les mécanismes de la collision débouchent sur un raccourcissement et un épaissement de la croûte continentale de la lithosphère subduite à l'origine de la racine crustale et d'un relief positif. Cela implique d'exposer les déformations tectoniques dues à la collision.
- En conclusion, on pourra évoquer le rôle de l'isostasie dans la création du relief positif. Celui-ci ne dépend pas uniquement de l'épaississement de la croûte.

#### ■ Mobiliser ses connaissances

- Au relief positif qu'est la chaîne de montagnes, répond en profondeur une importante racine crustale.
- L'épaisseur de la croûte d'une chaîne de montagnes résulte d'un épaissement lié à un raccourcissement et à un empilement.

## Introduction

Les chaînes de montagnes récentes, dites de collision, sont associées à des hauts reliefs et ont donc une altitude moyenne nettement supérieure à celle des autres régions continentales. On utilise l'expression de **relief positif** pour traduire ce fait. En outre, ces chaînes ont une croûte de 20 à 40 km supérieure à la moyenne de la croûte continentale, en dehors de ces chaînes. À cet épaississement en profondeur de la croûte des chaînes de collision actives, on donne le nom de **racine crustale**. **Au relief positif de la chaîne correspond une racine crustale.**

Nous allons envisager les mécanismes en œuvre dans une chaîne de collision à l'origine de ces caractéristiques. Pour cela, nous allons d'abord situer la collision continentale dans l'histoire de la chaîne.

## I. La dynamique lithosphérique en œuvre lors de la collision

La chaîne de montagnes de collision résulte d'une longue histoire. La collision a été précédée d'un long épisode où de la **lithosphère océanique** séparant deux lithosphères continentales a subducté sous l'une des lithosphères continentales (**convergence**). Lorsque toute la lithosphère océanique a **disparu par subduction**, les deux lithosphères continentales sont entrées **en collision**.

La convergence des deux lithosphères continentales a causé des **déformations** dans la lithosphère continentale subduite, et plus particulièrement dans sa croûte, ce qui a entraîné la formation de la chaîne.

C'est ainsi que l'Himalaya résulte des déformations de la lithosphère de l'Inde suite à sa collision avec la lithosphère asiatique.

Nous allons envisager les caractéristiques de ces déformations qui sont à l'origine du relief positif de la chaîne et de sa racine crustale.

## II. Les déformations de la couverture sédimentaire de la chaîne (figure 1)

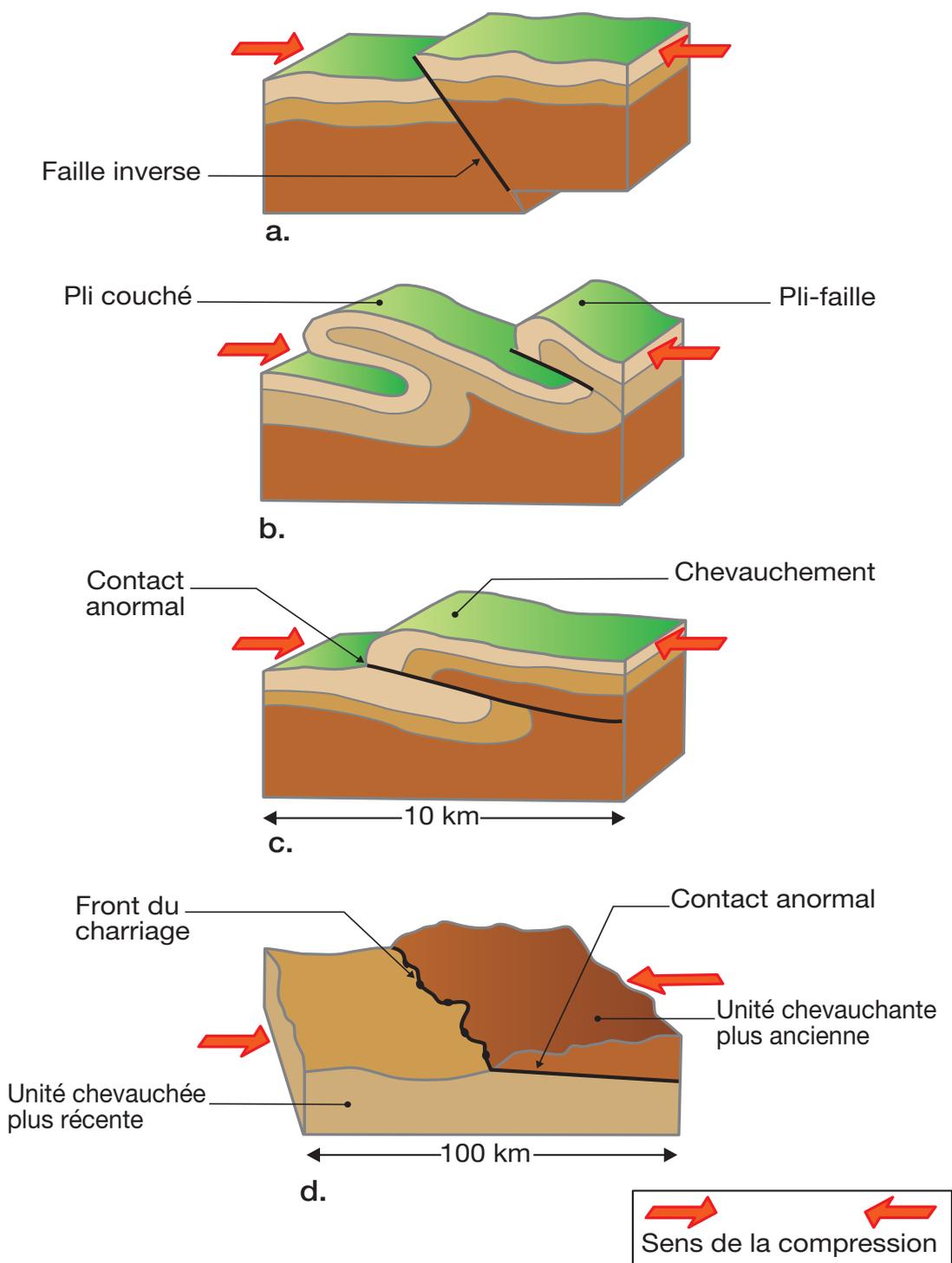


Figure 1. Déformations tectoniques associées à un raccourcissement : faille inverse (a), pli couché (b), chevauchement (c), nappe de charriage (d)

- La présence de plis affectant des roches de la couverture sédimentaire est très fréquente dans les reliefs des chaînes de montagnes. Or les sédiments à l'origine de ces roches se sont déposés initialement en couches horizontales. Lors de la formation de la chaîne, ils ont subi une déformation sous l'effet de **forces compressives**, qui a eu pour effet un **raccourcissement** et un **épaississement** de la couverture sédimentaire. Cela est particulièrement net pour les plis couchés, où les deux flancs sont quasi parallèles et superposés.
- D'autres déformations dues à des contraintes compressives sont les **failles inverses** et les **plis failles**. Une faille est une fracture d'un massif rocheux selon un plan avec un déplacement relatif des deux blocs situés de part et d'autre de la fracture. Dans une faille inverse, le compartiment situé au-dessus de la faille surmonte le compartiment situé en dessous, ce qui traduit une déformation en compression et s'accompagne d'un raccourcissement et d'un épaississement par rapport à la situation initiale.
- Des déformations de plus grande ampleur sont les **chevauchements** et surtout les **nappes de charriage**. Dans ces deux cas, il y a un déplacement horizontal d'un compartiment rocheux amenant des terrains à chevaucher d'autres terrains. Dans le cas d'un chevauchement, le déplacement est d'ampleur modérée (quelques kilomètres) alors qu'il est plus conséquent dans une nappe de charriage, pouvant dépasser une centaine de kilomètres. Chevauchement et nappe de charriage conduisent souvent à une disposition anormale des formations sédimentaires, où des couches plus anciennes se trouvent au-dessus de couches plus récentes.

**Chevauchement, et surtout nappe, entraînent un raccourcissement important et un épaississement de la couverture sédimentaire.**

### III. Les déformations du socle de la croûte des chaînes de montagnes

- Par l'intermédiaire de données sismiques, on a un accès indirect à la structure profonde de la croûte d'une chaîne de montagnes. On constate qu'elle montre un **empilement d'écailles de croûte** superposées les unes aux autres et se chevauchant. Ces déformations de grande ampleur participent **au rétrécissement et à l'épaississement** de la croûte et donc à la formation de la racine crustale associée aux reliefs. Cet écaillage de la croûte est une conséquence de la collision.
- Une fois la lithosphère océanique complètement résorbée, la subduction de la lithosphère continentale succède à celle de la lithosphère océanique.

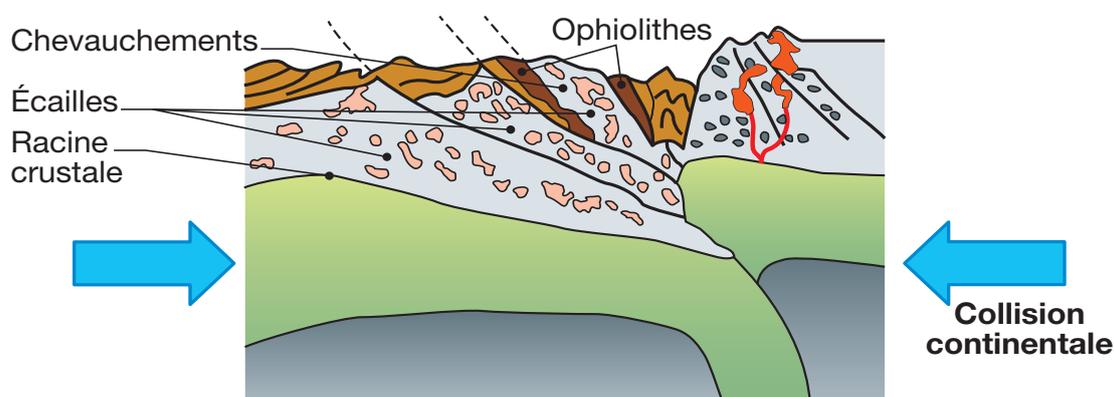
#### INFO

S'il faut citer les différents types de déformation, le sujet ne demande pas de faire un schéma pour chacun d'entre eux comme cela est fait sur la figure 1. Le schéma d'une seule structure peut suffire, à condition d'insister sur la conséquence : raccourcissement-épaississement.

La majeure partie de la croûte continentale **se désolidarise du manteau lithosphérique** qui poursuit sa subduction. Du fait du blocage de sa subduction, la croûte se fracture et donne naissance à une **première écaille** de croûte sous laquelle la croûte continentale continue à s'enfoncer. Le phénomène se renouvelle tant que dure la convergence, de sorte que la croûte continentale se débite en **plusieurs écailles superposées les unes aux autres**.

## Conclusion

Les déformations de la croûte engendrées par la convergence des lithosphères continentales lors de leur collision entraînent son raccourcissement. C'est ainsi qu'on estime qu'avant la collision avec l'Asie, l'Inde était beaucoup plus vaste qu'actuellement. Le raccourcissement horizontal est accommodé par un épaissement vertical (figure 2). On dit que la collision est une machine à épaisir la croûte par empilement tectonique. Cet épaissement crustal contribue à la genèse de la racine crustale et, dans une certaine mesure, au relief positif. Dans une certaine mesure seulement car un autre phénomène intervient : le réajustement isostatique. En effet, du fait de la racine crustale, une partie du manteau lithosphérique dense est remplacée au niveau de la chaîne de montagnes par de la croûte continentale moins dense. Il en résulte un réajustement isostatique se traduisant par un mouvement vers le haut. Ce soulèvement globalement synchrone de l'épaississement contribue aux hauts reliefs de la chaîne.



**Figure 2.** Phase de collision  
lors de la formation d'une chaîne de montagnes

Enfin, l'épaississement crustal ne se limite pas à la création d'un relief positif et d'une racine crustale. Il est aussi à l'origine d'un métamorphisme et d'un magmatisme de la croûte continentale de la racine crustale. Il assure ainsi un **recyclage de la croûte continentale**.

## La robe des chevaux et le brassage interchromosomique

Les chevaux présentent de nombreuses robes (= pelages) différentes. Dans cet exercice, on s'intéresse au contrôle génétique de quelques robes : les robes « Noir », « Alezan » et « Bai ».

► En vous appuyant sur les documents suivants, démontrer que les proportions phénotypiques obtenues dans le croisement n° 2 résultent bien d'un brassage interchromosomique.

## DOCUMENT 1

### Contrôle génétique des robes de base chez le cheval

#### a. Robes de base chez le cheval

Il existe trois couleurs de robes de base (couleur du pelage).

Robe « Noir » (= couleur noire sur l'ensemble du corps)	Robe « Alezan » (= couleur fauve sur l'ensemble du corps)
 <p>ph © Svetlana/stock.adobe.com</p>	 <p>ph © acceptfoto/Stock/Getty Images Plus</p>
Robe « Bai »	
 <p>ph © Kseniya Abramova/stock.adobe.com</p> <p>Crins noirs</p> <p>Pelage fauve sur le corps</p>	

Modifié d'après [www.hippologie.fr/robe-cheval](http://www.hippologie.fr/robe-cheval)

**b. Gènes successivement impliqués dans la synthèse et la répartition des pigments des robes de base**

Ces robes de base résultent de l'expression de deux gènes. Le gène *Extension* est impliqué dans la synthèse d'un pigment, le gène *Agouti* dans la répartition de ce pigment.

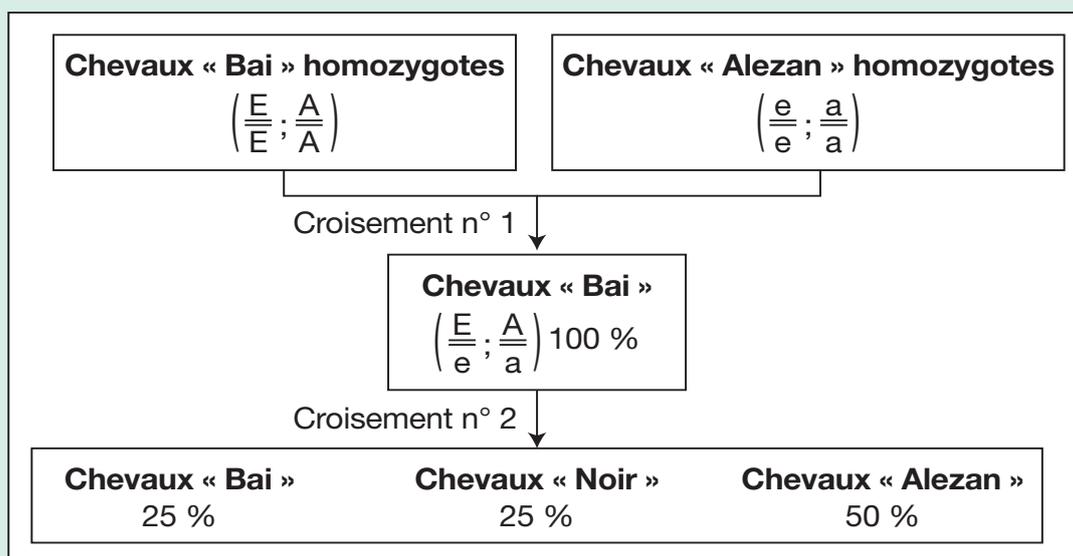
- Le gène *Extension* existe sous deux formes alléliques :
  - l'allèle « E » entraîne la synthèse d'un pigment noir, dans tout le corps, qui masque le pigment responsable de la couleur fauve ;
  - l'allèle « e » ne permet pas cette synthèse et la robe reste de couleur fauve.
- Le gène *Agouti* existe sous deux formes alléliques :
  - l'allèle « A » entraîne la dégradation du pigment noir excepté au niveau des crins et du pelage autour des sabots ;
  - l'allèle « a » n'entraîne pas la dégradation du pigment noir déjà synthétisé.

Le gène *Agouti* ne s'exprime donc que si l'animal possède au moins un allèle « E ».

Traduit d'après [en.wikipedia.org/wiki/Equine\\_coat\\_color](http://en.wikipedia.org/wiki/Equine_coat_color)

**DOCUMENT 2****Résultats de croisements entre chevaux**

On organise des croisements entre les individus suivants.



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- C'est une question de type II-1 portant sur la génétique, relativement complexe car elle fait intervenir deux gènes qui interfèrent dans la mise en place d'un caractère : la couleur de la robe des chevaux.
- Il faut lire attentivement les données fournies sur les actions des allèles des deux gènes car elles seront nécessaires pour déduire les phénotypes des chevaux à partir de leurs génotypes dans la descendance du croisement n° 2.
- Le premier croisement permet d'identifier les allèles dominants et les allèles récessifs et, par-là, d'établir que le deuxième croisement est un croisement-test.
- La démarche la plus simple est ensuite de se placer dans l'hypothèse d'un brassage interchromosomique et d'indiquer les types de gamètes produits par les hybrides  $F_1$  à la fois qualitativement et quantitativement selon cette hypothèse. Il faut construire l'échiquier prévisionnel de la descendance du deuxième croisement et déduire, à partir des génotypes, les phénotypes des chevaux et les fréquences d'apparition de chacun.
- Il reste alors à confronter les résultats prévus d'après l'hypothèse aux résultats effectivement obtenus et constater qu'ils sont identiques, ce qui valide l'hypothèse du brassage interchromosomique.

**■ Mobiliser ses connaissances**

Les chromosomes subissent un brassage interchromosomique résultant de la migration aléatoire des chromosomes homologues lors de la première division de la méiose.

**CORRIGÉ** 2

- L'écriture des génotypes indique que les deux gènes sont situés sur des chromosomes non homologues.
- Les individus  $F_1$  (issus du croisement n° 1) ont le phénotype « Bai » qui est celui de l'un des parents. Cela indique que les allèles « E » et « A » sont dominants et que les allèles « e » et « a » sont récessifs.



- Le croisement n° 2 s'effectue entre les hybrides  $F_1$  et des chevaux « Alezan » double récessifs ( $e/e$  ;  $a/a$ ), qui ne produisent que des gamètes de génotype  $e/a$  : il s'agit donc d'un croisement-test (test-cross) pour lequel nous pouvons établir un échiquier prévisionnel (figure page suivante).
- Puisque les gènes sont situés sur des paires de chromosomes différents, il doit y avoir, au cours de la formation des gamètes, un brassage interchromosomique. Cela conduit, pour les hybrides  $F_1$ , à la formation de quatre types de gamètes en quantité égale :  $E/A$ ,  $E/a$ ,  $e/A$  et  $e/a$ .

Gamètes $F_1$	$E/A$ (25 %)	$E/a$ (25 %)	$e/A$ (25 %)	$e/a$ (25 %)
Gamètes « Alezan »				
$e/a$ (100 %)	$E//e, A//a$	$E//e, a//a$	$e//e, A//a$	$e//e, a//a$
Phénotype	« Bai » 25 %	« Noir » 25 %	« Alezan » 25 %	« Alezan » 25 %
	50 %			

Figure. Échiquier prévisionnel du croisement n° 2

- Les phénotypes se déduisent des génotypes en prenant en compte les données sur les allèles des deux gènes. Les chevaux de génotype  $E//e$  ;  $a//a$  ont une robe noire car la possession de l'allèle « E » fait qu'ils synthétisent le pigment noir, et que celui-ci n'est pas dégradé par l'allèle « a ».
- Les chevaux de génotype  $e//e$  ;  $A//a$  et  $e//e$  ;  $a//a$  ont le phénotype « Alezan » car l'allèle « e » ne permet pas la synthèse d'un pigment noir. Les chevaux de génotype  $E//e$  ;  $A//a$  ont le même phénotype que les hybrides  $F_1$  (« Bai »).
- Ces prévisions statistiques théoriques sont, qualitativement et quantitativement, conformes aux résultats obtenus lors du croisement n° 2. Cette concordance confirme l'interprétation d'un brassage interchromosomique.

**ATTENTION !**

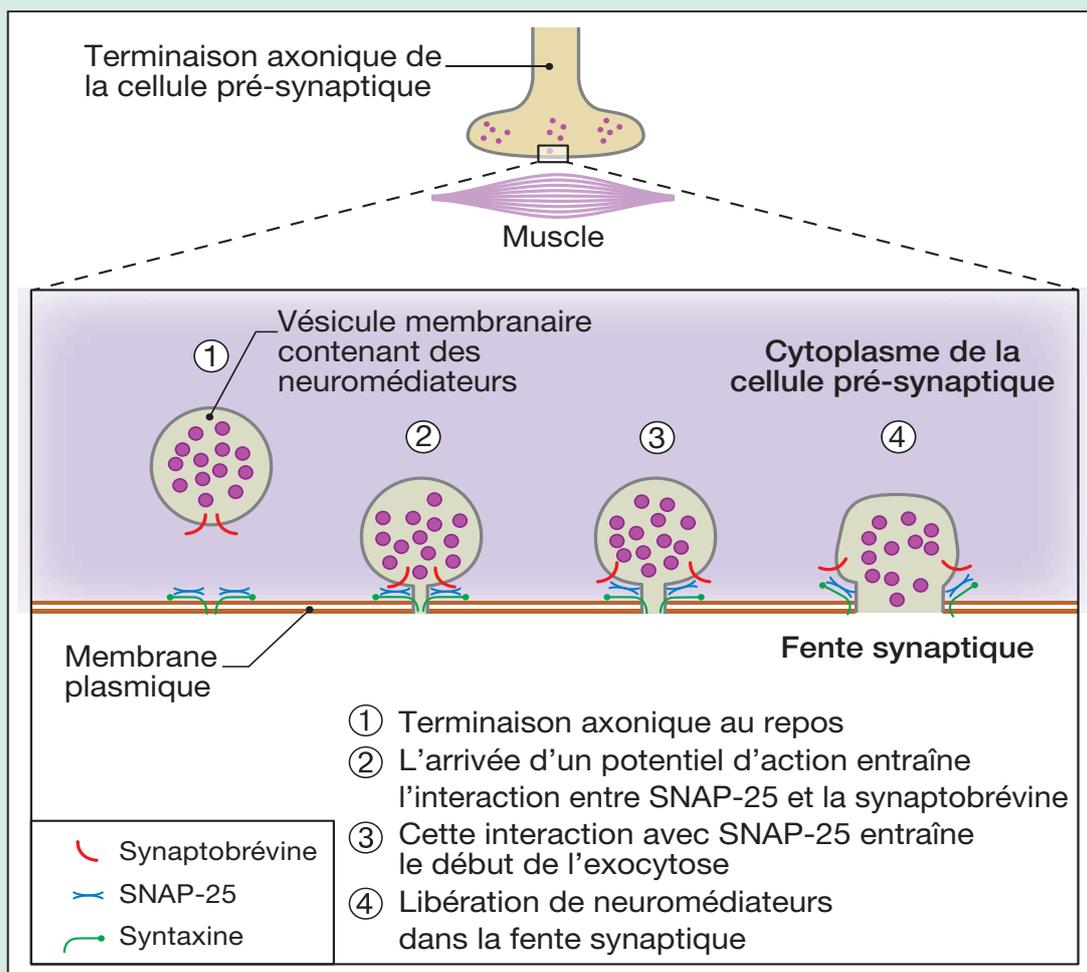
Le pigment noir n'apparaît que lorsque l'allèle « E » est présent et l'allèle « A » absent.

## Une toxine d'araignée contre le botulisme

► À partir de l'étude des documents et des connaissances, expliquer comment l'utilisation d'extrait de venin de veuve noire peut constituer un espoir de traitement contre le botulisme.

DOCUMENT  
DE RÉFÉRENCE

### Le mécanisme de libération de neuromédiateurs au niveau d'une synapse

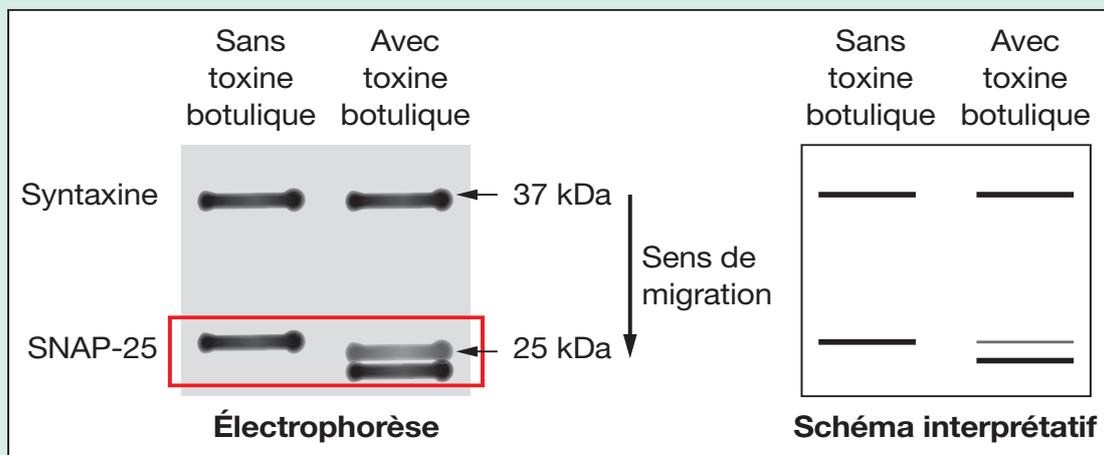


D'après [biochimej.univ-angers.fr](http://biochimej.univ-angers.fr)

## DOCUMENT 1

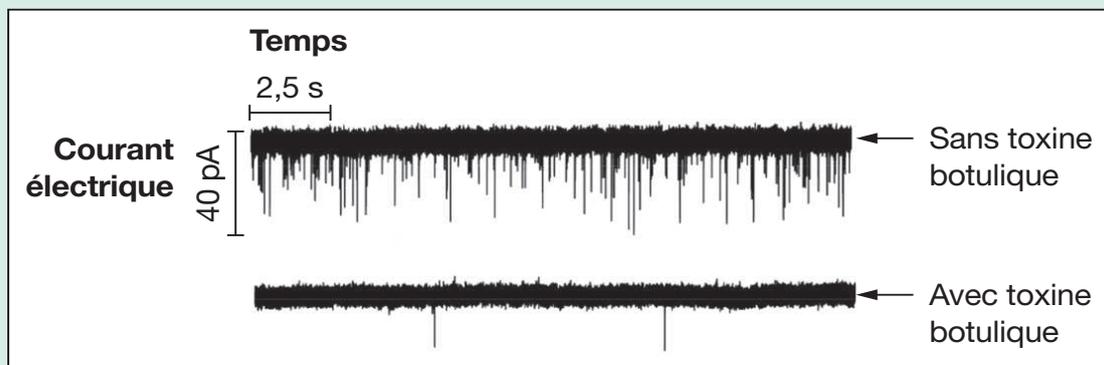
**Action de la toxine botulique A sur la jonction neuromusculaire****a. Effet moléculaire de la toxine botulique A**

La toxine botulique de type A est produite par une bactérie du sol appelée *Clostridium botulinum*. Elle agit au niveau des jonctions neuromusculaires dans la terminaison du neurone pré-synaptique. Pour observer son action moléculaire, on réalise une électrophorèse de la syntaxine et de SNAP-25 présentes dans la terminaison axonique de la cellule pré-synaptique, avec ou sans contact avec la toxine botulique A.



D'après Hubbard *et al.*, *Journal of visualized experiments*, 2015

*Remarque* : l'électrophorèse est une technique permettant de séparer les molécules selon leur poids en les faisant migrer sur une membrane dans un champ électrique. Plus la molécule migre, plus elle est légère. Le chiffre indique un poids moléculaire exprimé en kilodaltons (kDa).

**b. Effet de la toxine botulique A sur l'activité électrique de la cellule post-synaptique**

*Remarque* : les enregistrements ci-avant montrent l'activité électrique d'une cellule post-synaptique. Chaque pic vers le bas représente une réponse post-synaptique.

D'après Hubbard *et al.*, *Journal of visualized experiments*, 2015

**DOCUMENT 2**

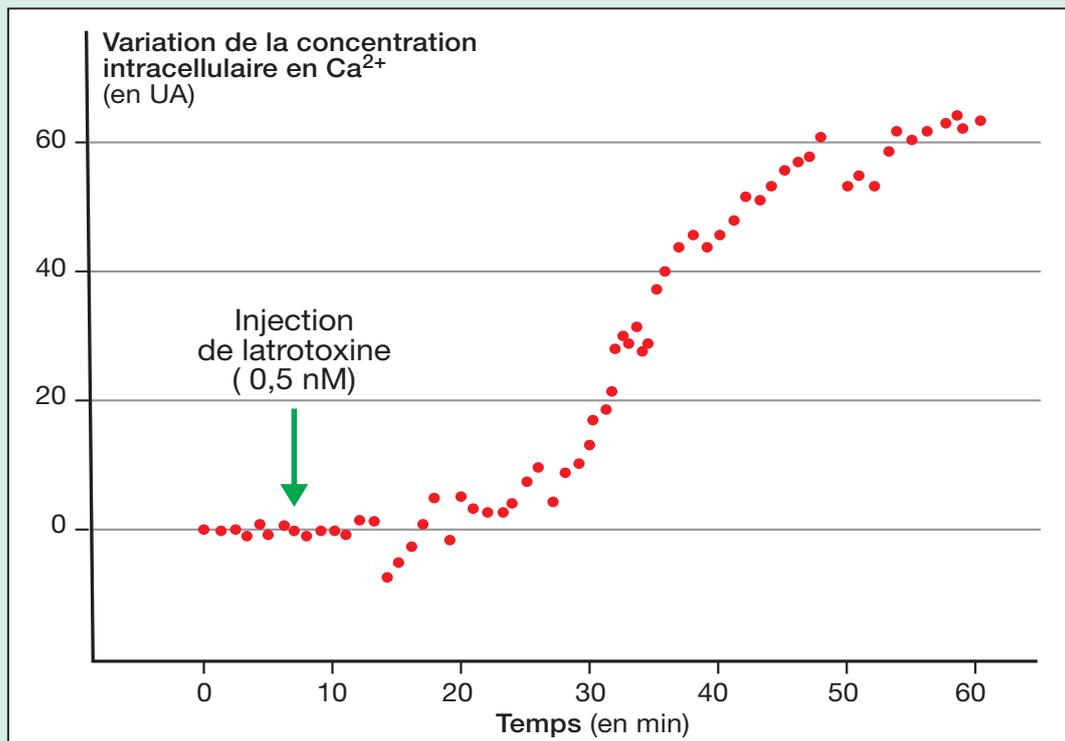
### Action de la toxine contenue dans le venin de l'araignée *Latrodectus sp.* (veuve noire)

#### a. Le venin de veuve noire

Le venin de la veuve noire contient une molécule appelée latrotoxine agissant au niveau de la terminaison de l'axone de la jonction neuromusculaire.

D'après Hostelge, Baer, Pines, Brady, *Visual Diagnosis in Emergency and Critical Care Medicine*, 2011

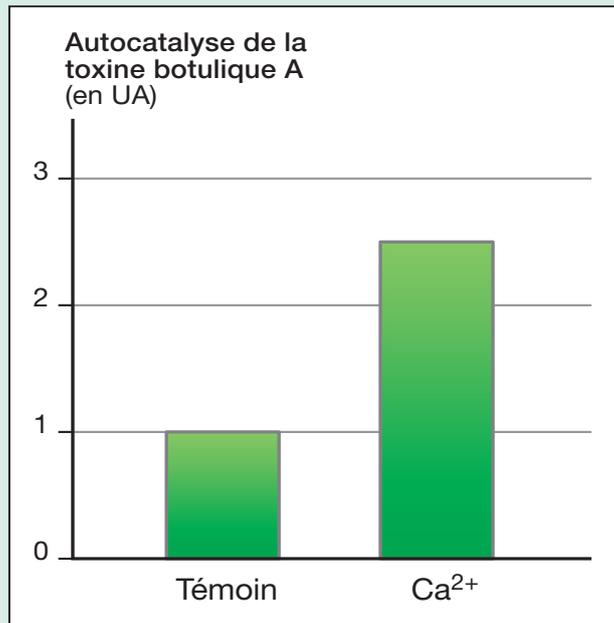
#### b. Effet de la latrotoxine sur la terminaison axonique du neurone pré-synaptique



D'après Tsang *et al.*, *The Journal of Neurosciences*, 2000

**DOCUMENT 3****Effet d'un essai de traitement expérimental du botulisme par des injections de toxine de veuve noire****a. L'autocatalyse de la toxine botulique A dans la terminaison du neurone pré-synaptique**

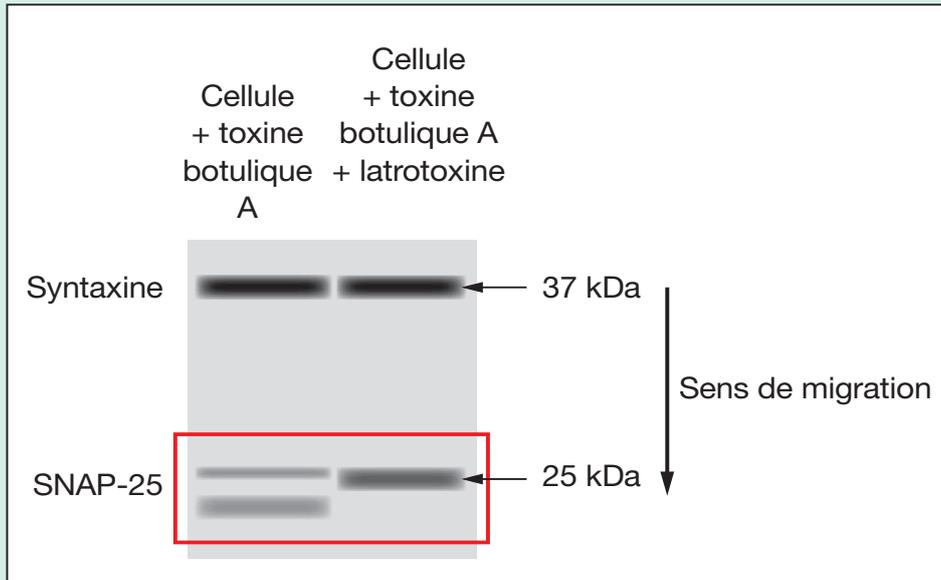
Il a été mis en évidence qu'une des extrémités de la toxine botulique A entraîne spontanément sa propre dégradation (= autocatalyse) et son inactivation. L'importance de cette dégradation spontanée a été testée en présence de  $\text{Ca}^{2+}$  ou en absence de  $\text{Ca}^{2+}$  (témoin).



D'après S. Ashraf Ahmed *et al.*, *The Protein Journal*, 2004

**b. Effet de la latrotoxine sur les protéines impliquées dans l'exocytose**

Des cellules intoxiquées par la toxine botulique A sont soumises (ou non) à la présence de latrotoxine pendant 13 minutes. On réalise, 48 h plus tard, une électrophorèse de la syntaxine et de SNAP-25 de la cellule (voir page suivante).



D'après Mesngon et McNutt, 2011

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Vous devez connaître les caractéristiques fondamentales de la synapse neuromusculaire (entre l'extrémité axonique d'un motoneurone et une fibre musculaire, et non un muscle).
- Le **document de référence** apporte des informations complémentaires que vous ignorez sans doute. Il est préférable de faire appel à ces informations au moment où elles s'avèrent indispensables, notamment pour l'interprétation des données des **documents 1a et 3b**.
- La démarche à suivre est dictée par l'ordre des documents. Il faut d'abord établir comment la toxine botulique bloque le fonctionnement de la synapse neuromusculaire en agissant au niveau pré-synaptique. Ensuite expliquer comment la toxine de la veuve noire pourrait être utilisée pour contrecarrer l'action de la toxine botulique et donc rétablir le fonctionnement de la synapse neuromusculaire.
- Il faut veiller à construire un raisonnement rigoureux basé sur un enchaînement logique des informations fournies par les divers documents et aboutir ainsi à la réponse à la question posée.

### ■ Mobiliser ses connaissances

La commande de la contraction d'une fibre musculaire met en jeu le fonctionnement de la synapse neuromusculaire, qui est une synapse chimique faisant intervenir un neuromédiateur, l'acétylcholine.

**CORRIGÉ** 3

La toxine botulique agit sur le fonctionnement de la synapse neuromusculaire au niveau pré-synaptique (**document 1a**). Cela peut entraîner une paralysie musculaire et avoir de graves conséquences.

Récemment, l'étude d'une autre toxine présente dans le venin de l'araignée appelée veuve noire a conduit à l'hypothèse que cette toxine pourrait être utilisée pour neutraliser la toxine botulique. Nous allons, à partir de l'analyse des documents, dégager des arguments en faveur de l'utilisation de cette toxine contre le botulisme.

### I. Action de la toxine botulique A

- Le **document 1b** montre que, sous l'action de la toxine botulique, l'activité électrique de la fibre musculaire est considérablement réduite : apparition de deux pics en 20 secondes contre plusieurs dizaines de pics durant le même temps en l'absence de toxine. Comme l'activité électrique est révélatrice du fonctionnement synaptique, la toxine botulique A semble avoir empêché la synapse neuromusculaire de fonctionner.
- Le **document 1a** permet de préciser comment la toxine botulique réalise ce blocage. L'électrophorèse en présence de toxine botulique diffère de celle réalisée en son absence par la présence de deux bandes au lieu d'une au niveau de la protéine SNAP-25. Il est apparu une bande de poids moléculaire plus faible. Cela indique que **la toxine botulique a provoqué un clivage de la protéine SNAP-25**.
- La protéine SNAP-25 est indispensable pour déclencher le début de l'exocytose (**document de référence**). La toxine botulique agit donc au niveau pré-synaptique en empêchant la libération du neuromédiateur, l'acétylcholine, dans la fente synaptique. La synapse ne peut fonctionner, ce qui se traduit par l'absence d'activité électrique (**document 1b**) de la fibre musculaire qui n'est plus stimulée.

## II. Action de la toxine de la veuve noire (latrotoxine)

### 1. Action de la latrotoxine sur l'axone pré-synaptique

- Le document 2a indique que la latrotoxine agit au niveau de la terminaison axonique de la jonction neuromusculaire, comme la toxine botulique.
- Le document 2b montre que la latrotoxine provoque une forte augmentation, de 0 à 60 UA (au bout d'une heure), de la concentration en ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans la région pré-synaptique.

#### INFO

La persistance d'une bande de 25 KDa (moins apparente) dans le schéma interprétatif du document 1a peut être due au fait que toutes les molécules de la protéine SNAP-25 n'ont pas été clivées par la toxine botulique.

### 2. Action des ions calcium sur la toxine botulique

- Le document 3a indique que la toxine botulique A se dégrade spontanément (autocatalyse) dans le bouton pré-synaptique.
- Cette dégradation fait plus que doubler (de 1 à 2,5 UA) en présence d'ions calcium.

### 3. Effets de la latrotoxine sur la toxine botulique

- L'électrophorèse du document 3b révèle qu'en présence de latrotoxine et de toxine botulique, le clivage de la protéine SNAP-25 provoqué par la toxine botulique seule n'a pas lieu (présence d'une seule bande à 25 kDa).
- La latrotoxine inhibe donc l'action de la toxine botulique sur la protéine SNAP-25.

## Bilan

- La toxine botulique bloque le fonctionnement de la synapse neuromusculaire en empêchant l'exocytose de l'acétylcholine, conséquence de son action sur une protéine, SNAP-25, indispensable à la réalisation de l'exocytose.
- La toxine de la veuve noire, la latrotoxine, agit directement en augmentant la concentration en ions calcium dans l'extrémité axonale pré-synaptique, là où agit la toxine botulique. Via cette augmentation, elle agit aussi indirectement sur la toxine botulique en favorisant sa dégradation.
- En conséquence, le clivage de la protéine SNAP-25 est annulé ou réduit. L'extrait de venin de la veuve noire peut donc être utilisé pour restaurer le fonctionnement des synapses neuromusculaires dérégulé par la toxine botulique.

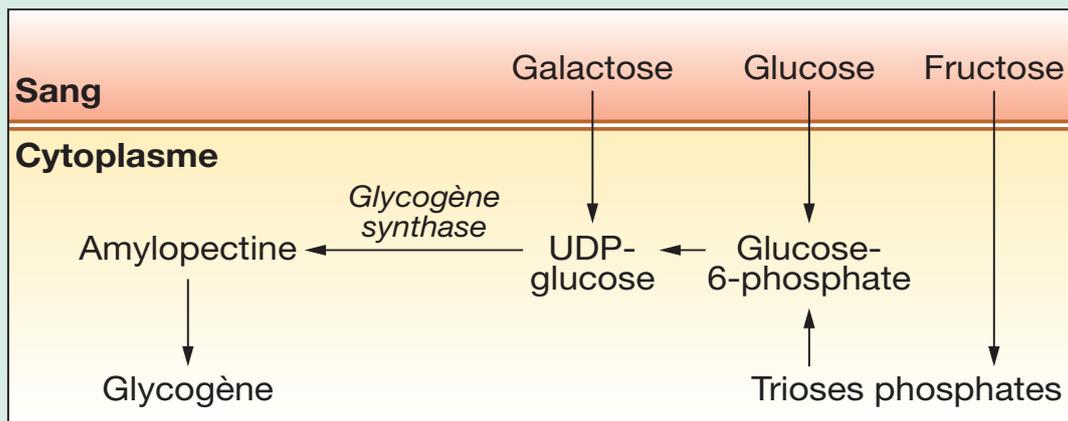
*Remarque* : la latrotoxine est elle-même dangereuse. Elle peut donc s'opposer aux effets de la toxine botulique mais à condition d'être utilisée à des concentrations compatibles.

## Facteurs contribuant à l'apparition d'un diabète de type 2

► À partir de l'étude des documents et des connaissances, expliquer comment différents facteurs peuvent contribuer à l'apparition d'un diabète de type 2.

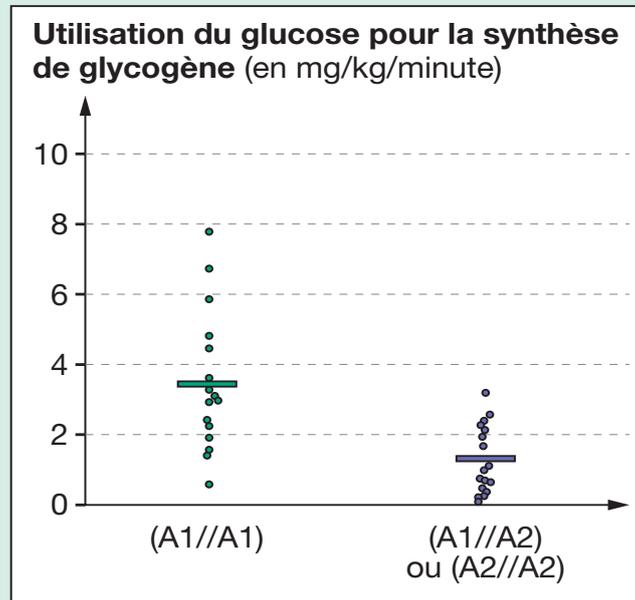
DOCUMENT  
DE RÉFÉRENCE

Voie métabolique de synthèse du glycogène impliquant l'enzyme glycogène synthase



D'après [www.chups.jussieu.fr](http://www.chups.jussieu.fr)

## DOCUMENT 1

**Effets du génotype du gène de la glycogène synthase sur le phénotype****a. Synthèse du glycogène en fonction du génotype**

Il existe deux allèles pour le gène codant pour l'enzyme glycogène synthase : l'allèle « A1 » et l'allèle « A2 ».

*Remarque* : les barres horizontales correspondent aux valeurs moyennes de l'utilisation du glucose pour chaque génotype.

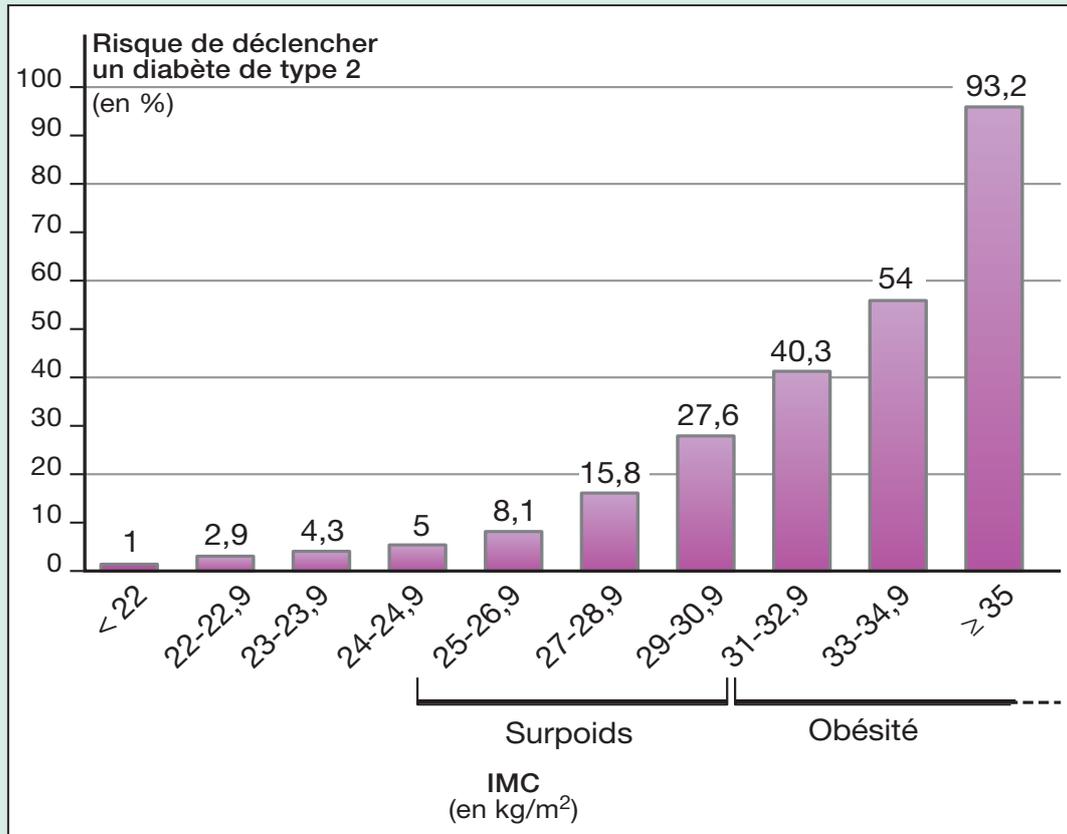
**b. Allèles de la glycogène synthase et phénotypes diabétiques**

En Finlande, on a mené une étude sur une population pour quantifier les génotypes pour la glycogène synthase chez les individus diabétiques ou non.

Génotype	Fréquence chez les individus non diabétiques	Fréquence chez les individus diabétiques de type 2
(A1//A1)	92 %	70 %
(A1//A2) ou (A2//A2)	8 %	30 %

D'après planet-vie.ens.fr

## DOCUMENT 2

**Relation entre l'IMC et le risque de diabète de type 2**

D'après Colditz GA *et al.*, *Ann Intern Med*, 1995

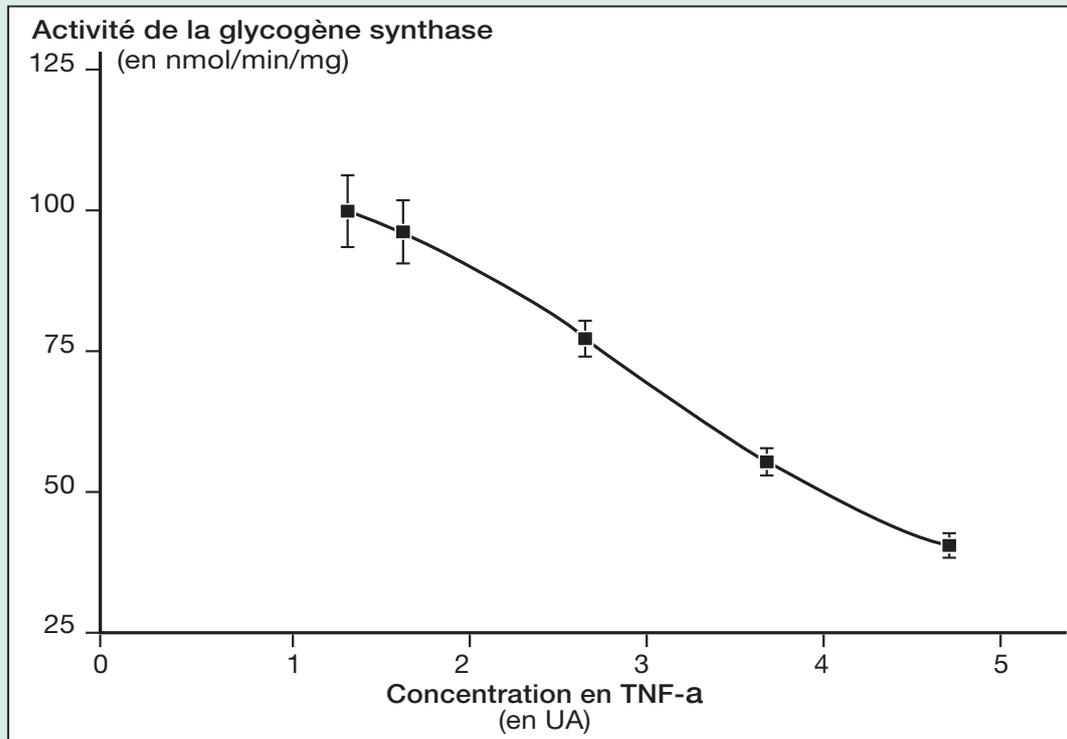
*Remarque* : l'indice de masse corporelle (IMC) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{IMC} = \frac{\text{Masse}}{\text{Taille}^2}$$

## DOCUMENT 3

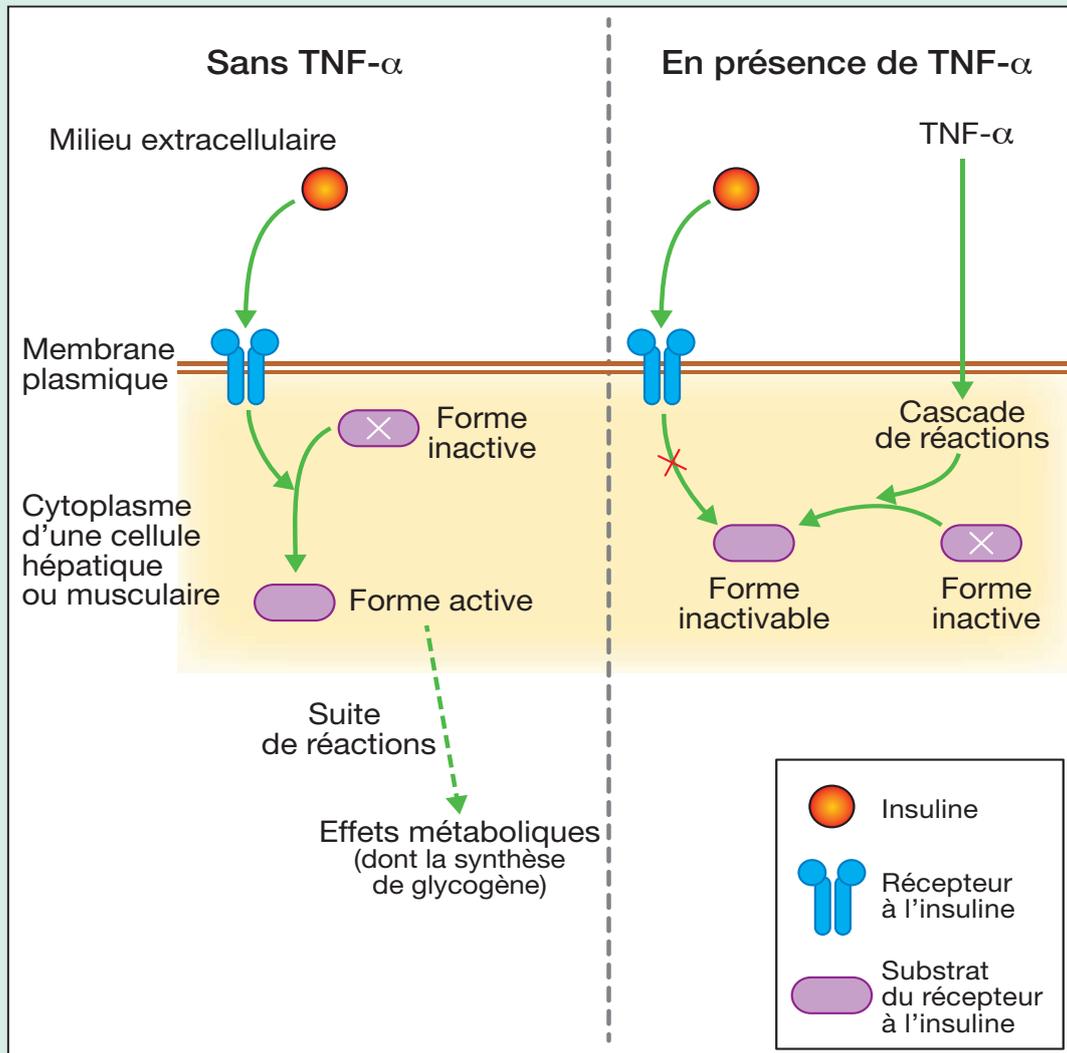
### Variation de l'activité de la glycogène synthase dans les cellules musculaires ou hépatiques en fonction de la concentration de $\text{TNF-}\alpha$

Le  $\text{TNF-}\alpha$  est produit par le tissu adipeux de l'être humain. Cette sécrétion augmente fortement en situation de surpoids ou d'obésité.



D'après Halse et collaborateurs, *Diabetes*, vol. 50, mai 2001

## DOCUMENT 4

**Effet de la présence ou de l'absence de  $TNF-\alpha$  sur des cellules hépatiques et musculaires**

Adapté et simplifié, d'après J. Capeau, J.-P. Bastard, C. Vigouroux, *Mt cardio*, 2006

*Remarque* : la forme inactivable du substrat du récepteur à l'insuline ne peut plus être activée par le récepteur à l'insuline en présence d'insuline.

**LES CLÉS DU SUJET**

## ■ Comprendre le sujet

- Il est bon de rappeler en introduction ce qu'est le diabète, et plus précisément le diabète de type 2 dont l'une des caractéristiques essentielles est l'insulinorésistance. Les documents fournis permettent de mettre en

évidence des facteurs génétiques et environnementaux qui peuvent contribuer à l'apparition de ce type de diabète.

- Le **document de référence** attire l'attention sur la glycogène synthase, enzyme impliquée dans la synthèse du glycogène à partir du glucose dans les cellules cibles de l'insuline, les cellules hépatiques et musculaires. L'activité de cette enzyme, dans ces cellules, s'oppose à une élévation de la glycémie. Cette idée doit guider l'interprétation des conséquences de la variabilité des génotypes relatifs au gène qui code pour cet enzyme.
- Les données statistiques du **document 1b**, outre qu'elles confirment les conclusions du **document 1a** sur l'implication de facteurs génétiques, permettent d'insister sur le fait qu'il ne s'agit pas d'un déterminisme absolu. L'allèle « A2 » du gène de la glycogène synthase est un allèle de susceptibilité qui prédispose à l'apparition du diabète.
- Les autres documents ont trait à la façon dont l'obésité (habitudes alimentaires, activité physique) prédispose à l'apparition du diabète de type 2. Ils permettent en particulier d'expliquer comment l'obésité entraîne une insulino-résistance.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- Le déclenchement des diabètes est lié à des facteurs variés, génétiques et environnementaux.
- Le diabète de type 2 s'explique par la perturbation de l'action de l'insuline.

## CORRIGÉ 4

### Introduction

Le diabète est défini par une glycémie à jeun supérieure à 1,26 g par litre de sang ; il est aussi caractérisé par une forte élévation de la glycémie suite à un apport alimentaire de glucose. Cela traduit une mauvaise régulation de la glycémie qui, physiologiquement, est maintenue, au voisinage de 1 g/L.

L'une des caractéristiques du diabète de type 2 est l'insulino-résistance, c'est-à-dire une réponse insuffisante des organes cibles de l'insuline (muscles, foie, tissu adipeux) à l'action de celle-ci.

À partir de l'exploitation des documents proposés, nous allons étudier des facteurs pouvant contribuer à l'apparition du diabète de type 2, et notamment à l'insulino-résistance.



## I. Implication des facteurs génétiques

- Il existe dans les populations une variabilité génétique en ce qui concerne le gène qui code pour la glycogène synthase, enzyme impliquée dans la synthèse de glycogène à partir du glucose (document de référence) dans les cellules hépatiques et musculaires.
- Le document 1a indique que l'utilisation du glucose, et par conséquent son prélèvement dans le sang sont, en moyenne, deux fois plus importants chez les individus de génotype A1//A1 que chez les individus de génotype A2//A2 ou A1//A2.
- Plus les cellules du foie et des muscles prélèvent du glucose pour synthétiser du glycogène, moins le risque d'hyperglycémie, et donc de diabète de type 2, existe.
- Les individus de génotype A2//A2 ont donc un risque plus élevé de développer un diabète de type 2 que les individus A1//A1. Des facteurs génétiques peuvent contribuer à l'apparition d'un diabète de type 2.
- Le graphe 1a montre d'autre part que, chez les individus de génotype A1//A1, il existe une grande variabilité phénotypique bien que de même génotype. Cela implique l'intervention d'autres facteurs que le facteur génétique relatif à la glycogène synthase.
- Le document 1b montre que les individus diabétiques de type 2 ont une fréquence des génotypes A2//A2 et A1//A2 près de quatre fois supérieure à celle des individus non diabétiques (30 contre 8).
- Cela confirme que les génotypes A2//A2 et A1//A2 prédisposent au diabète de type 2 : ce sont des génotypes de susceptibilité. Cette prédisposition (ou susceptibilité) augmente la probabilité d'apparition d'un diabète de type 2 mais n'implique pas la certitude de cette apparition.

## II. Obésité et diabète de type 2

### 1. IMC et diabète

- Le document 2 indique que, pour les personnes qui ne sont ni en surpoids ni obèses, le risque relatif de développer un diabète est au maximum de 5.
- Le risque relatif augmente chez les personnes en surpoids, pour devenir très important (jusqu'à 93,2) chez les personnes obèses.

Le surpoids, et encore plus l'obésité, sont des facteurs pouvant contribuer à l'apparition du diabète de type 2.

- L'obésité est elle-même liée à des facteurs environnementaux (alimentation mal équilibrée, activité physique insuffisante...) mais elle peut également être liée à des facteurs génétiques.

## 2. Mode d'action de l'obésité

- **Quels sont les rapports entre obésité et diabète de type 2 ?** Chez une personne obèse, le tissu adipeux est très développé. Ce tissu sécrète une substance, le  $\text{TNF-}\alpha$ , qui a pour cibles les cellules musculaires et hépatiques.
- Le document 3 montre que, lorsque la concentration de  $\text{TNF-}\alpha$  augmente (de 1,5 à 5), l'activité de la glycogène synthase diminue de plus de moitié (de 100 à 40). **Le  $\text{TNF-}\alpha$  sécrété par le tissu adipeux inhibe la synthèse de glycogène** à partir du glucose dans les muscles et le foie.
- **L'insuline** est une hormone hypoglycémiante. Elle se fixe, comme le suggère le document 4, sur un récepteur membranaire des cellules cibles musculaires ou hépatiques. Cette liaison hormone-récepteur entraîne une série de réactions, aboutissant à **la synthèse de glycogène** à partir du glucose prélevé dans le sang. Dans cette voie métabolique initiée par la fixation de l'insuline à son récepteur, la glycogène synthase doit être impliquée.

Le  $\text{TNF-}\alpha$  sécrété par le tissu adipeux **empêche le passage du substrat du récepteur à l'insuline de la forme inactive à la forme active**. Cela interdit à la cellule de répondre à la présence d'insuline : les cellules musculaires et hépatiques sont devenues insulino-résistantes.

## Bilan

- La synthèse de glycogène dans les cellules musculaires et hépatiques grâce à l'enzyme glycogène synthase est un mécanisme important qui soutire du glucose au sang, contribuant ainsi à éviter l'hyperglycémie, donc le diabète de type 2.
- Les génotypes A2//A2 et A2//A1 relatifs au gène codant pour la glycogène synthase peuvent faire que cet enzyme soit moins efficace dans la synthèse de glycogène. Ces génotypes prédisposent ainsi à l'apparition d'un diabète de type 2 : ce sont des facteurs génétiques.
- L'obésité est un facteur qui augmente le risque d'apparition d'un diabète de type 2. En effet, le tissu adipeux abondant chez l'obèse sécrète une substance, le  $\text{TNF-}\alpha$ , qui a une double action :
  - il diminue l'activité de la glycogène synthase ;
  - il inhibe la réponse des cellules musculaires et hépatiques à l'insuline et provoque ainsi une insulino-résistance.

Par cette double action, l'obésité limite la capacité des cellules cibles (muscles, foie) à stocker le glucose sous forme de glycogène.

- Des facteurs génétiques et des facteurs environnementaux responsables de l'obésité peuvent donc contribuer à l'apparition d'un diabète de type 2.



## Diversification des génotypes au cours des générations

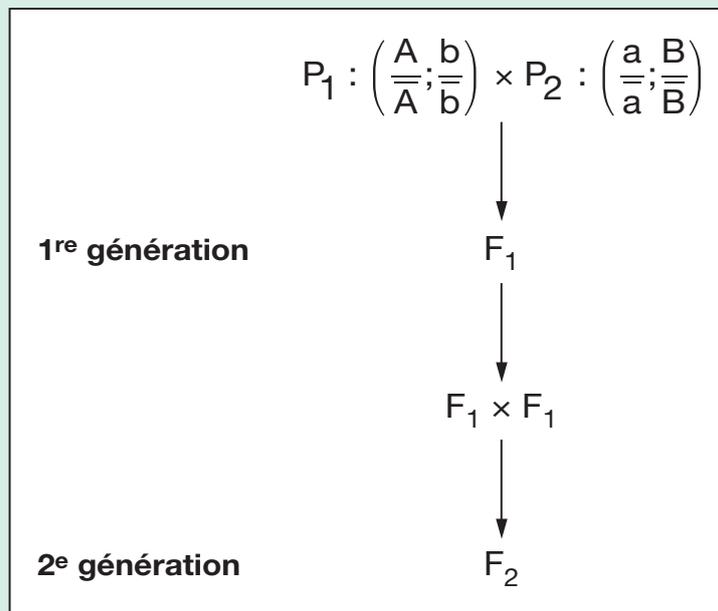
► Montrer comment les différents mécanismes du brassage génétique au cours de la reproduction sexuée permettent de produire des génotypes qui diffèrent des génotypes parentaux à chaque génération.

On considérera la descendance, sur deux générations, de deux parents homozygotes pour deux couples d'allèles indépendants.

On précisera les génotypes produits à chaque génération.

*La réponse associera textes et schémas.*

### DOCUMENT DE RÉFÉRENCE



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Le sujet, classique, nécessite que soient exposés les mécanismes de brassage génétique au cours de la méiose et de la fécondation.
- Les informations et les génotypes fournis dans le document de référence vous indiquent que les deux gènes étudiés sont situés sur des chromosomes différents. Il faut donc envisager le brassage interchromosomique à la méiose uniquement. Vous pouvez toutefois faire allusion au brassage intrachromosomique à la fin de votre conclusion.
- Attention à la réalisation des schémas. Veillez en particulier à bien schématiser deux méioses différentes de façon à visualiser le comportement des paires de chromosomes à l'origine du brassage interchromosomique. La méiose n'est pas à représenter dans son intégralité.
- Un échiquier de croisement n'est pas nécessaire pour la génération  $F_1$  mais est indispensable pour la génération  $F_2$ . Pensez à bien indiquer ce qu'il traduit : la rencontre au hasard des gamètes mâles et femelles à la fécondation.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- Au cours de la méiose, des échanges de fragments de chromatides se produisent entre chromosomes homologues d'une même paire. Les chromosomes ainsi remaniés subissent un brassage interchromosomique résultant de la migration aléatoire des chromosomes homologues au cours de la première division de la méiose.
- La fécondation conduit à une immense diversité génétique des zygotes.



**CORRIGÉ** 5**Introduction**

Les mécanismes fondamentaux de la reproduction sexuée, **méiose et fécondation**, assurent un brassage génétique permettant d'obtenir des génotypes qui diffèrent des génotypes parentaux à chaque génération.

**ATTENTION !**

Le texte indique que les deux couples d'allèles sont indépendants, et l'écriture des génotypes des parents symbolise le fait que les gènes sont situés sur des chromosomes non homologues.

Nous allons envisager ces mécanismes dans le cas de la transmission de deux gènes situés sur des chromosomes non homologues.

**I. Une première génération ( $F_1$ ) de génotype différent de celui des parents**

- La méiose comporte deux divisions successives, avec séparation des chromosomes homologues au cours de la première division, puis séparation des chromatides durant la deuxième division. Les gamètes résultant de la méiose sont donc haploïdes et possèdent un allèle de chaque gène.
- Puisque les parents  $P_1$  et  $P_2$  sont homozygotes pour les deux gènes considérés, le parent  $P_1$  produit 100 % de gamètes de génotype  $A/$ ,  $b/$  et le parent  $P_2$  produit 100 % de gamètes de génotype  $a/$ ,  $B/$ .
- Les individus de la génération  $F_1$  ont donc pour génotype, à 100 %,  $A//a$  ;  $b//B$ .

Le génotype de tous les  $F_1$ ,  $A//a$  ;  $b//B$ , est différent de ceux des deux parents.

**II. Le brassage génétique au cours de la formation des gamètes des individus  $F_1$  (figure 1)**

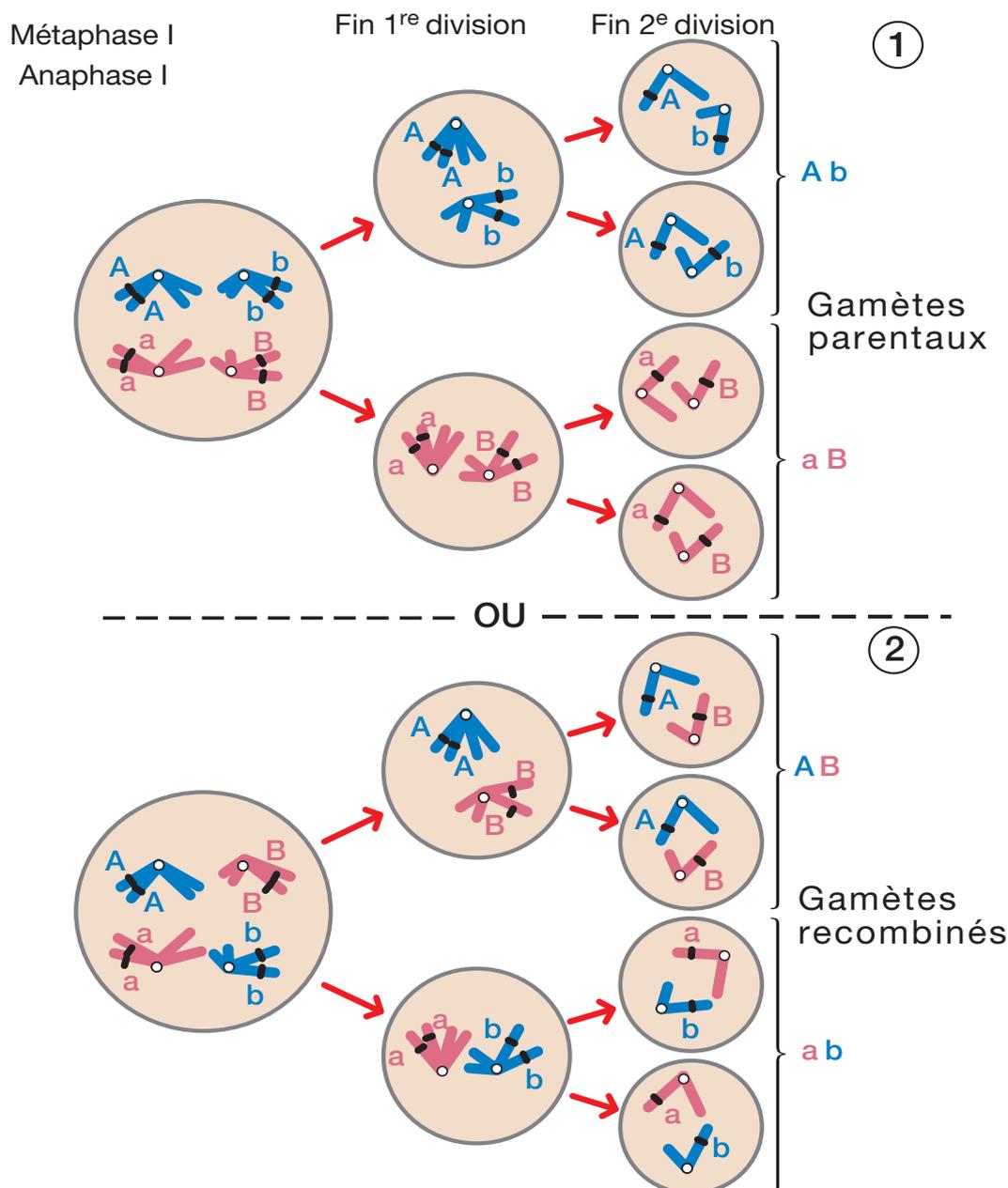
- Au cours de la première division de la méiose, à la métaphase-anaphase, le comportement des deux paires de chromosomes est indépendant, comme le montre la figure 1 de la page suivante.

Deux dispositions, ① et ②, sont possibles, chacune ayant une égale probabilité.

**ATTENTION !**

Les chromosomes fournis par le parent  $P_1$  sont en bleu, ceux du parent  $P_2$  sont en rouge.

- En ①, la deuxième division de la méiose conduit à des gamètes  $A/$ ,  $b/$  et  $a/$ ,  $B/$ . En ②, cette deuxième division aboutit également à deux types de gamètes :  $A/$ ,  $B/$  et  $a/$ ,  $b/$ .



ENS. SPÉCIFIQUE

Figure 1. Le brassage génétique interchromosomique lors de la formation des gamètes de  $F_1$

• L'hybride  $F_1$  produit donc, statistiquement, quatre types de gamètes en quantités égales. Deux de ces types sont des **gamètes parentaux** ①, les deux autres sont des **gamètes recombinés** ②. Ces gamètes recombinés témoignent d'un brassage génétique interchromosomique.

#### DÉFINITION

Un gamète produit par un individu est dit « parental » lorsqu'il possède l'association d'allèles des gènes considérés identique à celle que l'individu a reçu de l'un de ses parents. Si le gamète possède une association différente de celle que l'individu a reçu de ses deux parents, le gamète est dit « recombiné ».

### III. Les génotypes de la génération F<sub>2</sub> (figure 2)

• Au cours de la fécondation, la rencontre des gamètes mâles et femelles se fait au hasard. Cela amplifie considérablement le brassage génétique dû à la méiose, comme l'illustre l'échiquier de croisement de la figure 2.

**ATTENTION !**

L'échiquier de croisement traduit, d'une part, le brassage interchromosomique à la méiose et, d'autre part, le caractère aléatoire de la rencontre des gamètes à la fécondation.

• À partir d'un génotype parental unique (A//a ; b//B) 9 génotypes sont susceptibles d'apparaître dans la descendance, à la génération F<sub>2</sub> : le génotype F<sub>1</sub> A//a ; b//B et huit génotypes recombinés. Parmi ceux-ci, deux seront identiques à ceux des parents P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>, et six seront nouveaux.

Gamètes mâles \ Gamètes femelles	AB	Ab	aB	ab
AB	A //A ; B //B	A //A ; B //b	A //a ; B //B	A //a ; B //b F <sub>1</sub>
Ab	A //A ; b //B	A //A ; b //b P <sub>1</sub>	A //a ; b //B F <sub>1</sub>	A //a ; b //b
aB	a //A ; B //B	a //A ; B //b F <sub>1</sub>	a //a ; B //B P <sub>2</sub>	a //a ; B //b
ab	a //A ; b //B F <sub>1</sub>	a //A ; b //b	a //a ; b //B	a //a ; b //b

Figure 2. Échiquier prévisionnel de la génération F<sub>2</sub>, résultant du croisement entre deux individus F<sub>1</sub> hétérozygotes ayant le même génotype

### Conclusion

Le brassage génétique interchromosomique et le brassage dû à la rencontre au hasard des gamètes lors de la fécondation conduisent à des génotypes différents des génotypes parentaux et, lorsque les parents sont hétérozygotes, à plusieurs génotypes différents.

Lorsque les gènes sont situés sur le même chromosome, un autre mécanisme intervient pour créer de la diversité génétique : le brassage intrachromosomique, qui a lieu au cours de la première division de la méiose et qui précède le brassage interchromosomique.

## Des mécanismes de diversification génétique

La diversification génétique des êtres vivants s'explique notamment par la diversité des gamètes produits lors de la méiose. Au cours de celle-ci, des accidents peuvent survenir contribuant aussi à cette diversité.

► En vous appuyant sur l'exemple d'une méiose normale d'une cellule à  $2n = 2$  chromosomes et d'un accident de méiose conduisant à une duplication d'un gène, montrez que ces mécanismes sont à l'origine de la diversité génétique des gamètes.

**Remarque :** la paire de chromosomes homologues sera porteuse d'un gène A (avec les allèles  $a1$  et  $a2$ ) et d'un gène B (avec les allèles  $b1$  et  $b2$ ). Votre exposé sera structuré avec une introduction et une conclusion. Il sera accompagné de schémas.

### LES CLÉS DU SUJET

#### ■ Comprendre le sujet

- Ce sujet sur la diversité des gamètes produits lors de la méiose, bien que classique, présente une double originalité :
  - Envisager la méiose chez une espèce où  $2n = 2$ , donc où le caryotype ne possède qu'une seule paire de chromosomes homologues. De fait, il ne peut y avoir de brassage interchromosomique. Il s'agit donc de traiter le brassage intrachromosomique, c'est-à-dire le brassage des allèles de deux gènes situés sur le même chromosome. Il faut schématiser dès l'introduction la localisation des allèles sur la paire de chromosomes.
  - Développer une diversité génétique engendrée non pas par un brassage d'allèles, mais par la duplication d'un allèle d'un gène dans une cellule issue de la méiose.
- Deux méioses sont donc à prendre en compte, l'une normale pour le brassage des allèles des gènes, l'autre qualifiée d'anormale (accident de méiose) pour la duplication d'un allèle.

- Au cours de la prophase de la première division d'une méiose qualifiée de normale, il y a toujours au moins un **crossing-over** sur une paire de chromosomes homologues. Si l'on considère les allèles de deux gènes, il faut que le crossing-over soit situé entre les loci des deux gènes pour faire apparaître la diversité génétique. Il est donc inutile de décrire une méiose sans crossing-over. Une telle méiose serait d'ailleurs anormale ! Ce qui change entre les diverses méioses, c'est la position des crossing-over.
- L'accident de méiose qui conduit à la duplication d'un allèle d'un gène affecte aussi la localisation du crossing-over. On parle de **crossing-over inégal**. C'est un crossing-over qui est localisé près d'un gène mais qui affecte de façon différente les chromatides impliquées.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- La méiose est la succession de deux divisions précédée d'un doublement de la quantité d'ADN. Elle produit quatre cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde.
- Au cours de la méiose, des échanges de fragments de chromatides (crossing-over) se produisent entre chromosomes homologues d'une même paire.
- Des anomalies peuvent se produire. Un crossing-over inégal aboutit parfois à une duplication de gène.

## CORRIGÉ

## 6

### Introduction

C'est dans les gonades d'un mammifère (testicules et ovaires) que les cellules mères diploïdes des gamètes (spermatocytes I et ovocytes I) subissent la méiose. Celle-ci est caractérisée par deux divisions cellulaires successives aboutissant à la formation de quatre cellules haploïdes ( $n$  chromosomes) qui se différencient en gamètes.

Toutes les cellules mères des gamètes d'un individu ont le même caryotype et le même génotype. En revanche, les cellules haploïdes issues d'une méiose, même unique, sont génétiquement différentes. Cette diversité est due au brassage des allèles des gènes au cours de la méiose.

En outre, des anomalies peuvent survenir au cours des méioses, et notamment celles qui conduisent à une autre forme de diversité génétique consistant en la duplication d'un allèle d'un gène.



Pour décrire les mécanismes à l'origine de ces diversités génétiques, nous allons considérer une espèce dont le caryotype ne comprend que deux chromosomes, ces chromosomes homologues portant en particulier les allèles de deux gènes A et B. La figure 1 ci-après schématise la garniture chromosomique d'une cellule mère des gamètes au début (a) et à la fin (b) de l'interphase qui précède la méiose.

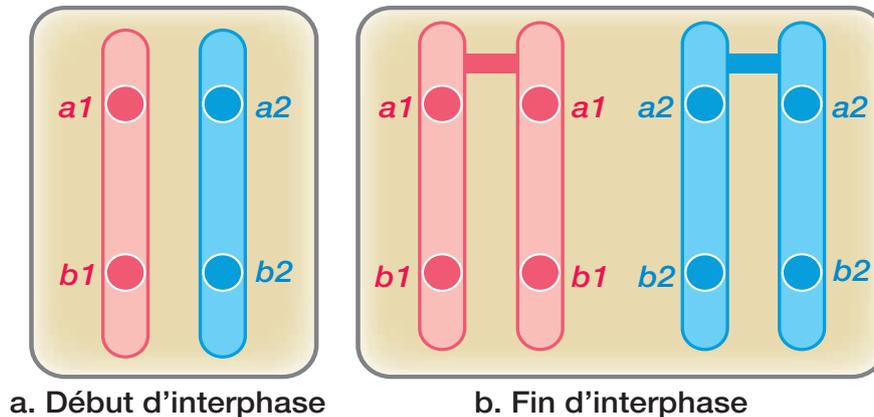


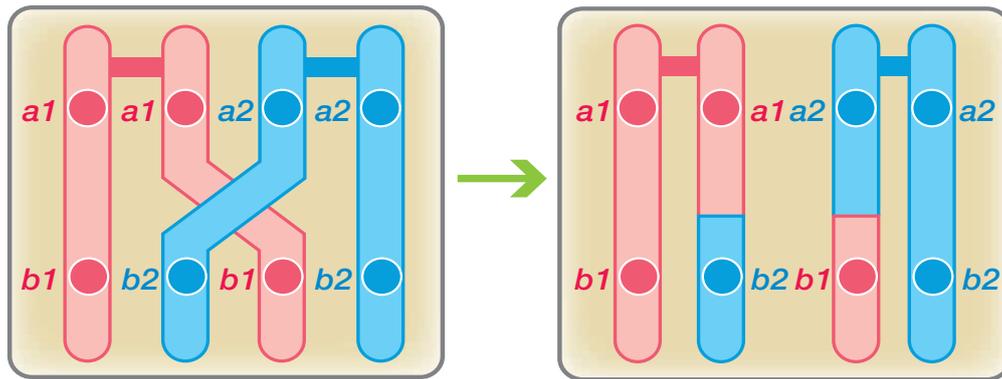
Figure 1. Cellule mère des gamètes ( $2n = 2$ ) à l'interphase

ENS. SPÉCIFIQUE

## I. Mécanisme du brassage allélique au cours de la méiose

### 1. Le remaniement des chromosomes homologues au cours de la prophase I

- Cette prophase est caractérisée, dans un premier temps, par l'appariement étroit des chromosomes homologues ; puis, dans un deuxième temps, les chromosomes d'une même paire tendent à se séparer sauf au niveau de chiasmas, dont la position et le nombre sont variables d'une méiose à l'autre.
- C'est au niveau de ces chiasmas que se produit le crossing-over (figure 2, page suivante) qui consiste en l'échange de fragments entre chromatides non sœurs de chromosomes homologues.
- Cet échange entraîne un brassage intrachromosomique qui s'accompagne d'un brassage génétique pour les deux gènes considérés uniquement si le crossing-over est situé entre les loci des deux gènes.
- Ce type de brassage conduit à deux chromosomes homologues possédant chacun une nouvelle association d'allèles portée par l'une de leurs chromatides :  $a1$  et  $b2$  pour l'un,  $a2$  et  $b1$  pour l'autre.

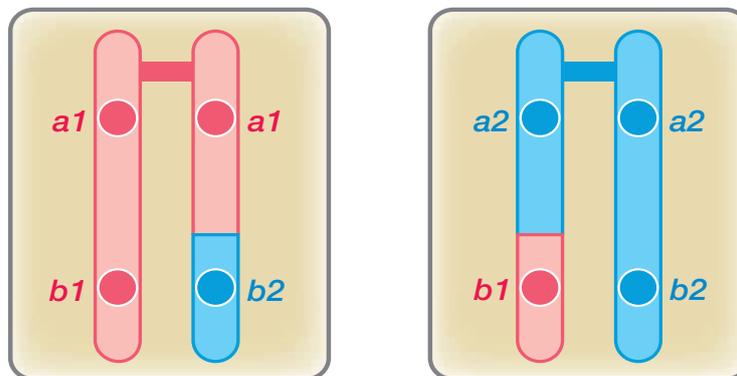


Remaniement des chromosomes homologues par crossing-over

Figure 2. Prophase I de la méiose

## 2. La fin de la première division de la méiose dans une cellule $2n = 2$

- Pendant la métaphase, les deux chromosomes homologues encore appariés se placent de part et d'autre de la plaque équatoriale.
- À l'anaphase, un chromosome (toujours formé de deux chromatides) se dirige vers l'un des pôles de la cellule et son homologue vers l'autre pôle. Chacune des deux cellules filles n'hérite donc que d'un chromosome, et chaque chromosome est toujours formé de deux chromatides, qui diffèrent par les deux associations d'allèles qu'elles portent (figure 3).



Deux cellules haploïdes

Figure 3. Fin de la première division de la méiose

### 3. La deuxième division de la méiose

- La deuxième division se déroule comme au cours d'une mitose normale dans chacune des deux cellules issues de la première division, lesquelles sont haploïdes avec un seul chromosome dans l'exemple envisagé.
- À l'anaphase, dans chaque cellule, les deux chromatides du chromosome se séparent et migrent chacune vers un pôle.

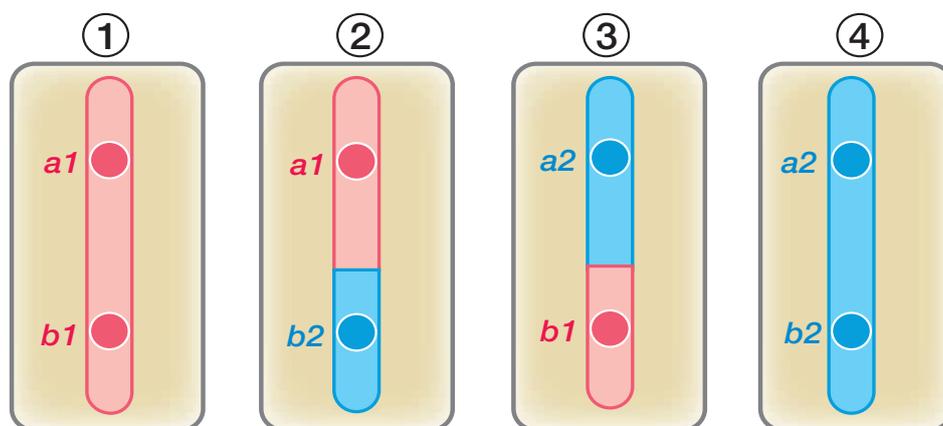
On aboutit à quatre cellules haploïdes (figure 4) :

- deux cellules dites parentales, possédant la combinaison initiale des allèles des deux gènes ( $a1b1$  pour l'une,  $a2b2$  pour l'autre) ;
- deux cellules dites recombinées, possédant de nouvelles associations des allèles ( $a1b2$  pour l'une et  $a2b1$  pour l'autre).

Les cellules recombinées témoignent du brassage allélique réalisé par la méiose, lequel brassage accroît la diversité génétique des gamètes.

#### DÉFINITION

Un gamète produit par un individu est dit parental lorsqu'il possède l'association d'allèles de gènes, identique à celle du gamète qu'il a reçu de l'un de ses parents. Il est dit recombiné s'il possède une association d'allèles autre que celle du gamète qu'il a reçu de chacun de ses parents.



- ① ( $a1 b1$ ) et ④ ( $a2 b2$ ) : gamètes parentaux  
 ② ( $a1 b2$ ) et ③ ( $a2 b1$ ) : gamètes recombinés

Figure 4. Fin de la méiose

## II. Mécanismes à l'origine de la duplication d'un allèle

### 1. La duplication de gènes

- Dans le cas d'une méiose normale durant la prophase I, l'appariement des chromosomes homologues s'effectue gène à gène, d'une façon étroite et très précise.
- La duplication peut avoir pour origine une anomalie de cette prophase de la première division de la méiose appelée crossing-over inégal. Celui-ci est dû à un défaut dans l'appariement des chromosomes.
- Considérons un crossing-over inégal aboutissant à la duplication du gène B (figure 5, page suivante). Tout d'abord, le crossing-over a lieu près du locus du gène B, mais il y a un décalage dans sa position sur les deux chromatides homologues impliqués (figure 5a).

Le crossing-over a alors lieu en arrière de l'allèle  $b2$  sur l'une des chromatides et en avant de l'allèle  $b1$  sur l'autre chromatide.

- À la fin de ce type de prophase I, l'une des chromatides considérées possède deux allèles  $b1$  et  $b2$  du gène alors que l'autre chromatide ne possède plus d'allèle de ce gène (figure 5b).

### 2. Les gamètes obtenus

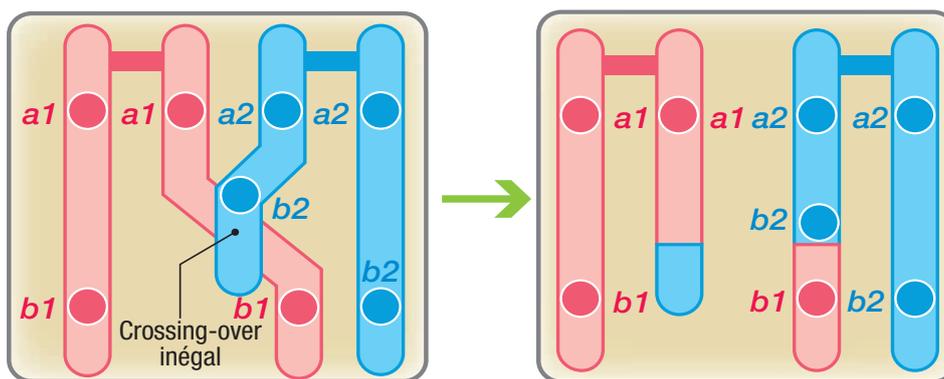
- À la fin d'une telle méiose, les gamètes sont de trois types :

- deux gamètes normaux possédant chacun un allèle des gènes A et B ;
- un gamète sans allèle du gène B ;
- un gamète porteur de deux allèles du gène B.

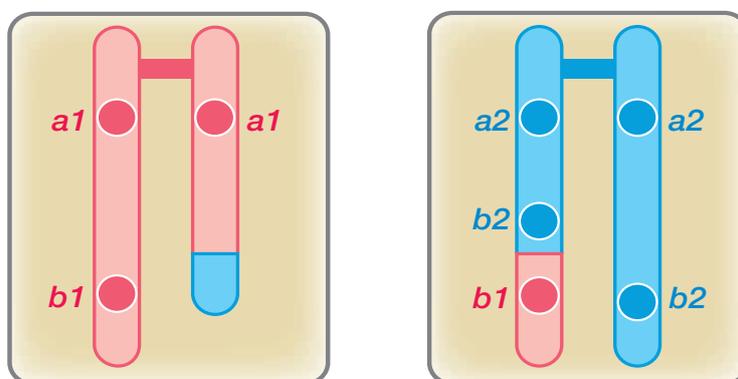
- Ce gamète est ainsi porteur de deux allèles du même gène occupant des loci différents sur un même chromosome. Puisque ces allèles occupent deux loci différents on peut alors parler de deux gènes. Il y a eu une duplication génique.

#### INFO

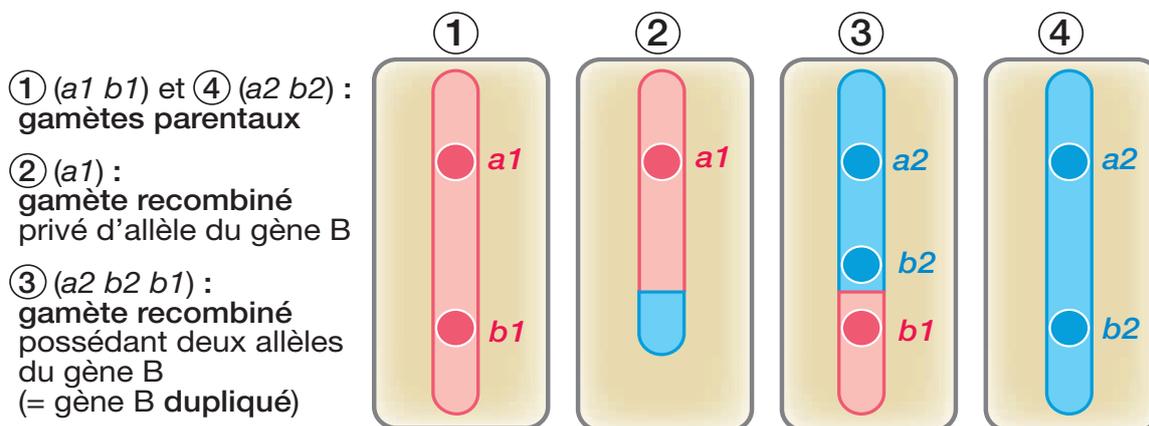
Ici les deux allèles  $b1$  et  $b2$  du gène B sont différents, mais la duplication génique peut concerner deux allèles identiques d'un gène.



a. Prophase de la première division  
(remaniement des chromosomes  
par un crossing-over inégal)



b. Fin de la première division de la méiose  
(2 cellules haploïdes)



① ( $a1\ b1$ ) et ④ ( $a2\ b2$ ) :  
gamètes parentaux

② ( $a1$ ) :  
gamète recombiné  
privé d'allèle du gène B

③ ( $a2\ b2\ b1$ ) :  
gamète recombiné  
possédant deux allèles  
du gène B  
(= gène B dupliqué)

c. Fin de la méiose et gamètes obtenus

Figure 5. Méiose présentant un crossing-over inégal

## Bilan

• Des faits essentiels qui contribuent à la **diversité génétique des gamètes** lors d'une méiose normale sont :

- l'**appariement** des chromosomes homologues ;
- le **crossing-over** affectant les chromatides non sœurs.

Il y a toujours une recombinaison chromosomique qui s'accompagne, si l'on considère deux gènes avec des allèles différents, d'un brassage allélique uniquement si le crossing-over se produit entre les loci des deux gènes.

• Les chromosomes homologues des cellules qui subissent la méiose possèdent en réalité de nombreux gènes avec des allèles différents. Comme la localisation du crossing-over varie d'une méiose à l'autre, il en résulte des **brassages alléliques différents**, d'où une très grande diversité de gamètes.

• Le crossing-over joue également un rôle fondamental dans la **duplication génique**, mais il doit être inégal pour réunir deux allèles d'un même gène sur le même chromosome.

• Si ce mécanisme de duplication d'un gène se répète au cours de l'histoire évolutive d'une espèce, on aboutit à une **famille multigénique**.

• Si ces gènes d'une même famille conservent la même fonction, la quantité de protéine résultant de leur expression augmente, ce qui peut conférer un avantage évolutif. S'ils subissent des mutations indépendantes, cela peut conduire à l'apparition de nouvelles fonctions (par exemple la famille multigénique des opsines qui permet la vision des couleurs). Ainsi, les anomalies de la méiose peuvent être créatrices de diversité et avoir un **impact évolutif**.

• Le crossing-over normal est à l'origine de nouvelles combinaisons d'allèles préexistants, alors que le crossing-over inégal conduit à une diversité différente caractérisée par la réunion, sur un même chromosome, de deux allèles d'un même gène. Les allèles sont souvent identiques, mais ils peuvent parfois être différents, comme dans l'exemple étudié.

### CONSEIL

Dans la conclusion, on peut généraliser et dépasser l'exemple envisagé.



## Des hommes sans chromosome Y

Céline et Erwan peinent à avoir leur premier enfant.

Les résultats des examens prescrits pour comprendre la cause de cette difficulté montrent qu'Erwan présente une stérilité liée à une anomalie qui touche un homme sur 20 000 :

- son caryotype présente deux chromosomes X et une absence de chromosome Y ;
- un des deux chromosomes X porte le gène SRY (*Sex-determining Region of Y chromosome*) dont le locus est normalement situé sur le chromosome Y. La présence de ce gène explique qu'Erwan ait développé un phénotype sexuel masculin. Le médecin explique par ailleurs que les chromosomes X et Y présentent, aux extrémités de leur bras, des régions homologues 1 et 2.

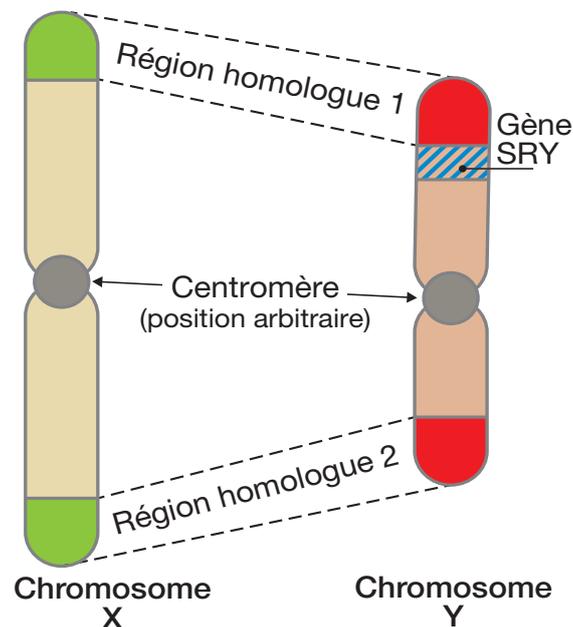


Schéma des chromosomes sexuels

La présence du gène SRY sur un chromosome X proviendrait donc, en fait, d'un transfert par crossing-over entre les chromosomes X et Y lors de la méiose.

- En tant que médecin, expliquez à ce couple :
- comment, dans le cas général, la méiose et la fécondation conduisent à un caryotype XY chez un homme ;
  - comment, dans de rares cas, un événement survenu au cours de la méiose peut avoir pour conséquence la présence de deux chromosomes X, dont l'un porteur du gène SRY comme chez Erwan.

*Votre exposé comportera une introduction, un développement structuré illustré de schémas explicatifs et une conclusion.*

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Il faut bien saisir qu'Erwan a hérité de son père un chromosome X porteur du gène SRY. Il est donc nécessaire d'expliquer comment la méiose ayant eu lieu chez le père d'Erwan a abouti à la production d'un spermatozoïde porteur d'un tel chromosome.
- Le sujet demande de décrire le cas d'une méiose et d'une fécondation normales conduisant à un caryotype XY. Puisque la question est ciblée sur le caryotype XY, vous pouvez vous limiter à représenter uniquement le comportement des chromosomes X et Y.
- Attention, il ne faut pas laisser penser que l'anomalie ayant eu lieu lors de la méiose du père d'Erwan est un crossing-over. Un crossing-over a toujours lieu au cours de la méiose au niveau de la région homologue 1 des chromosomes X et Y. L'anomalie réside dans la position de ce crossing-over. Aussi, il faut représenter une méiose normale avec un crossing-over pour ensuite mettre en évidence l'anomalie avec le schéma de la méiose anormale.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- Au cours de la méiose, des échanges de fragments de chromatides (crossing-over ou enjambement) se produisent entre chromosomes homologues d'une même paire.
- Des anomalies peuvent survenir. Un crossing-over inégal aboutit parfois à une duplication de gènes.

**CORRIGÉ** 7**Introduction**

La stérilité d'Erwan est liée à une dissociation entre son caryotype féminin XX et son phénotype masculin. Ce dernier est dû au fait que l'un des chromosomes X d'Erwan porte le gène SRY qui, au cours du développement embryonnaire, détermine le phénotype masculin. Ce gène SRY est, normalement, uniquement présent sur le chromosome Y.

Le gène SRY étant exclusivement présent chez l'homme, Erwan a reçu le chromosome X normal de sa mère et le chromosome X porteur de SRY de son père. Son père est fertile (puisque'il a eu un fils, Erwan), il a donc un caryotype normal :  $XY_{SRY}$ .

Nous allons établir comment le père d'Erwan a pu produire un spermatozoïde possédant un chromosome X porteur du gène SRY ( $X_{SRY}$ ).

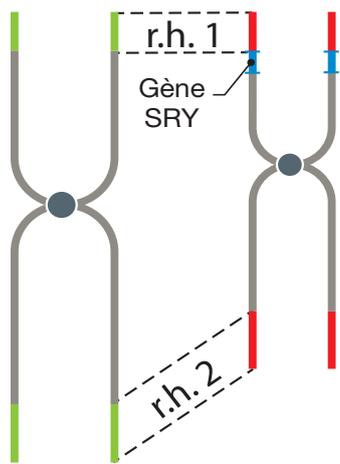
Au préalable, à titre de comparaison, nous allons envisager le cas normal de la production de spermatozoïdes possédant un chromosome X non porteur du gène SRY.

**I. Comportement des chromosomes X et Y au cours d'une méiose normale****A. La méiose (figure 1)**

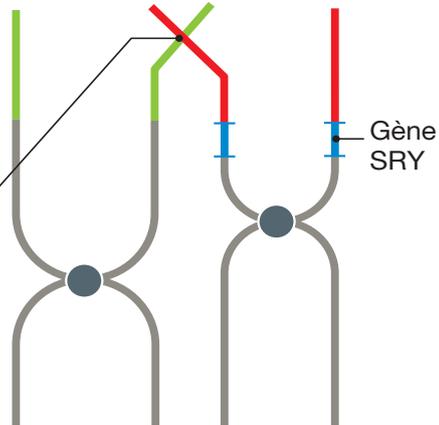
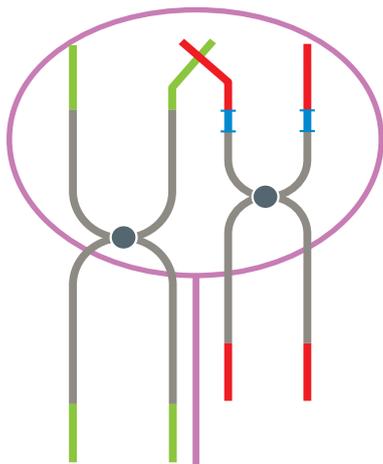
- Au cours de la prophase de la première division de méiose, les chromosomes X et Y dédoublés (formés chacun de deux chromatides) s'apparient par leurs régions homologues, en particulier au niveau de leurs régions 1.
- Puis ils tendent à se séparer, sauf au niveau d'un chiasma localisé dans leurs régions homologues (figure 1). Au niveau de ce chiasma, en amont du locus du gène SRY, un échange entre une chromatide du chromosome Y et une chromatide du chromosome X peut se produire.
- Cet échange n'a pas de conséquences sur le chromosome X, qui reste dépourvu de gène SRY, ni sur la chromatide du chromosome Y.

À la métaphase-anaphase, les chromosomes X et Y se séparent et chaque cellule issue de cette première division reçoit un seul chromosome sexuel, X ou Y, toujours dédoublé (et remanié sans aucune conséquence).



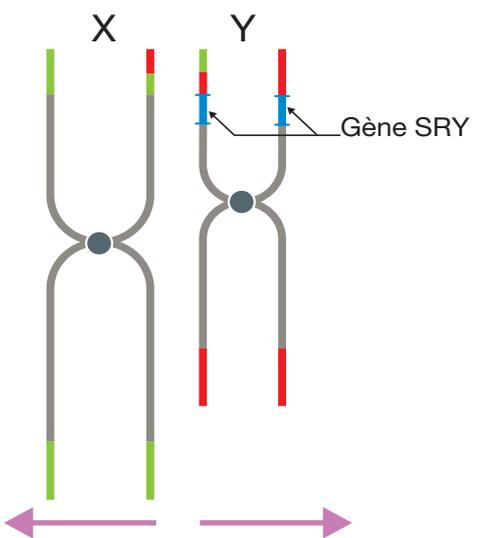


**Début de prophase 1**  
 Les chromosomes sexuels X et Y ne sont pas encore appariés. Les régions non homologues des chromosomes sexuels sont en gris (r.h. 1 et r.h. 2 : régions homologues).

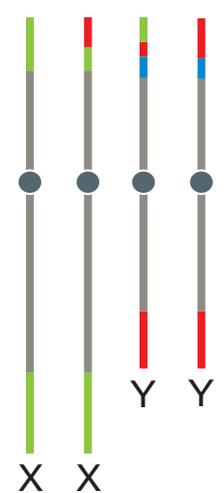


**Chiasma :** échange entre une chromatide du chromosome X et une chromatide du chromosome Y

**Prophase 1**  
 Les chromosomes sexuels appariés par leur région homologue terminale tendent à se séparer, sauf au niveau d'un chiasma.



**Anaphase 1**  
 Les chromosomes X et Y se séparent et migrent vers les deux pôles de la cellule.



**Chromosomes sexuels des quatre cellules issues de la méiose (futurs spermatozoïdes).**

Figure 1. Une méiose normale



• Au cours de la deuxième division de la méiose, dans chaque cellule issue de la première division, les chromatides de chaque chromosome se séparent. Il se forme 4 cellules à 23 chromosomes ; ce sont de futurs gamètes : deux possèdent un chromosome Y et les deux autres un chromosome X normal, sans gène SRY.

#### Remarque

Lors de la formation des gamètes femelles, la méiose se déroule de manière identique. À partir d'une cellule-mère XX, la méiose conduit à quatre cellules possédant chacune un chromosome X simple.

### B. La fécondation et la production d'un zygote XY

Si, lors de la fécondation, un spermatozoïde porteur du chromosome Y féconde un ovule, le zygote formé aura le caryotype XY. La présence d'un chromosome Y porteur du gène SRY fait que le phénotype de l'individu sera masculin.

## II. Production par le père d'Erwan d'un spermatozoïde porteur d'un chromosome X<sub>SRY</sub>

### A. Une méiose anormale (figure 2)

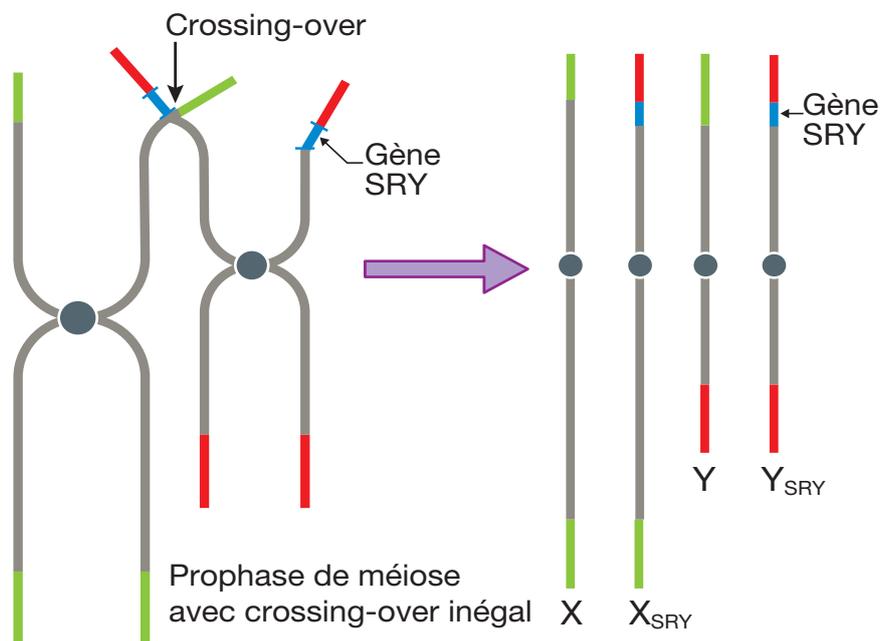


Figure 2. Une méiose anormale

• Au cours de la prophase de la première division, il y a bien un crossing-over entre une chromatide du chromosome X et une chromatide du chromosome Y, mais celui-ci se situe au voisinage immédiat de la région

#### Remarque

Un crossing-over se produisant entre régions non strictement homologues des chromosomes sexuels s'apparente à un crossing-over inégal.

homologue 1 des chromosomes X et Y, en aval du gène SRY. Il en résulte la formation d'une chromatide X possédant la région terminale 1 mais comportant en plus celle du gène SRY d'une chromatide Y.

- Une telle méiose produit alors un spermatozoïde porteur d'un chromosome X normal, un spermatozoïde porteur d'un chromosome Y et de deux spermatozoïdes anormaux, l'un porteur d'un chromosome X comportant le gène SRY ( $X_{SRY}$ ) et l'autre porteur d'un chromosome Y privé du gène SRY.

### B. La fécondation

Si un spermatozoïde porteur du chromosome  $X_{SRY}$  féconde un ovule normal, donc porteur d'un chromosome X, on obtient un œuf de génotype  $X_{SRY}X$  qui, en se développant, donnera un individu de sexe masculin semblable à Erwan.

### Conclusion

La stérilité d'Erwan résulte d'abord d'une anomalie dans la position du crossing-over au cours d'une méiose (crossing-over inégal) chez son père, anomalie ayant abouti à la formation du spermatozoïde qui a contribué à sa naissance ; ce spermatozoïde présentant un chromosome X porteur du gène SRY a ensuite fécondé un ovule normal avec un chromosome X.

La possession du gène SRY a suffi pour réaliser un phénotype masculin au cours du développement d'Erwan, mais n'a pas permis une spermatogenèse normale, Erwan est donc stérile. Or, le chromosome X d'Erwan porteur du gène SRY ne possède pas la région propre au chromosome Y (les régions des chromosomes X et Y ne sont pas homologues). Cela laisse supposer que dans la région propre au chromosome Y, se trouvent des gènes indispensables à une spermatogenèse normale.



## Des huîtres consommables toute l'année

Avant les années 2000, on ne mangeait des huîtres que de septembre à avril. Le reste de l'année, leur consistance laiteuse, grasse et le goût de leurs organes sexuels matures en diminuaient l'attrait.

Depuis, des huîtres dites « des quatre saisons » sont proposées sur le marché. Elles sont le résultat de recherches réalisées par l'Ifremer. Ces huîtres peuvent être dégustées toute l'année car elles sont stériles.

## DOCUMENT 1

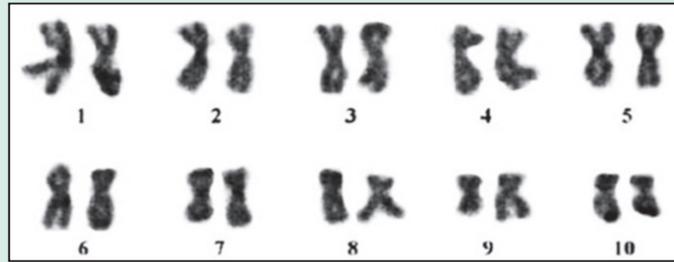
### Tableau de quelques caractéristiques de trois types d'huîtres (nommées arbitrairement A, B, C) de même espèce, mais présentant des ploïdies différentes

	Huître A	Huître B	Huître C
Méthode d'obtention des huîtres	Reproduction naturelle d'huîtres A sauvages	Union de deux gamètes issus de A : – un ovule triploïde* – un spermatozoïde haploïde**	Croisement d'une femelle A avec un mâle B
Période de reproduction	Été	Été	Aucune
Ploïdie des gamètes produits	$n = 10$	$2n = 20$	Pas de gamètes
Consommation	De septembre à avril	Pas de consommation : huîtres conservées par l'Ifremer pour la reproduction	Toute l'année

\*Une cellule triploïde présente des chromosomes en triple exemplaire.

\*\*Une cellule haploïde présente des chromosomes en un seul exemplaire.

## DOCUMENT 2

**Caryotype d'une cellule non reproductrice d'une huître de type A**

Karine Bouilly *et al.*, *Journal of Genetics*, Vol. 87, n° 2, 2008

► À l'aide de l'exploitation des documents proposés, indiquer la bonne réponse pour chaque série de propositions du QCM.

- Les documents nous permettent de dire que :
  - les huîtres A sont haploïdes.
  - les huîtres B sont diploïdes ( $2n = 20$ ).
  - les huîtres A sont diploïdes.
  - les huîtres C sont tétraploïdes ( $4n = 40$ ).
- Le caryotype des huîtres C est constitué :
  - d'un lot haploïde de chromosomes d'origine femelle et d'un lot diploïde de chromosomes d'origine mâle.
  - d'un lot haploïde de chromosomes d'origine mâle et d'un lot haploïde de chromosomes d'origine femelle.
  - d'un lot haploïde de chromosomes d'origine mâle et d'un lot diploïde de chromosomes d'origine femelle.
  - d'un lot diploïde de chromosomes d'origine mâle et d'un lot diploïde de chromosomes d'origine femelle.
- Les huîtres C :
  - possèdent un nombre anormal de chromosomes, ce qui les rend fertiles.
  - sont triploïdes et consommables toute l'année car elles sont stériles.
  - sont des huîtres obtenues directement par manipulation génétique.
  - peuvent être obtenues par croisement de deux individus C entre eux car eux-mêmes sont triploïdes.

**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Les propositions de ce QCM se rapportent à des données sur les huîtres que vous n'avez pas étudiées, mais pour lesquelles le document vous fournit toutes les informations nécessaires, à condition de bien maîtriser les notions relatives à la ploïdie des organismes : états haploïde, diploïde, triploïde et tétraploïde. La première série de propositions est cruciale pour faire le point sur l'état des huîtres A, B, C.
- Le caryotype indiqué pour les huîtres A et le nombre de chromosomes des gamètes de ces huîtres sont les deux arguments à utiliser pour dire qu'elles sont diploïdes.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- Chez un organisme diploïde, la méiose produit quatre cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde ; au cours de la fécondation, un gamète mâle haploïde et un gamète femelle haploïde s'unissent, ce qui conduit à un zygote diploïde.
- La polyploïdisation est un mécanisme de diversification du vivant.

ENS. SPÉCIFIQUE

**CORRIGÉ** 8

**1. c) Exact.** Le document 2 montre que les cellules non reproductrices de l'huître A possèdent 10 paires de chromosomes. En conséquence, la proposition **a)** est fautive.

**b) Faux.** L'huître B résulte de la fécondation d'un ovule triploïde ( $3n$ ) par un spermatozoïde haploïde ( $n$ ) ; elle est donc tétraploïde ( $4n$ ).

**d) Faux.** Les huîtres C résultent du croisement d'un ovule haploïde ( $n = 10$ ) avec un spermatozoïde diploïde ( $2n = 20$ ). L'huître C est donc triploïde ( $3n = 30$ ).

**2. a) Exact.** L'ovule d'une huître femelle A apporte  $n = 10$  chromosomes et le spermatozoïde produit par l'huître mâle B apporte  $2n = 20$  chromosomes.

**b) Faux.** Le lot de chromosomes apportés par le spermatozoïde B est diploïde et non haploïde.

**c) Faux.** C'est l'inverse.



**d) Faux.** Le lot de chromosomes d'origine femelle (A) est haploïde et non diploïde.

**3. b) Exact.** Les huîtres C sont triploïdes ( $2n + n$ ) et sont stériles, donc consommables toute l'année.

**a) Faux.** Les huîtres C, triploïdes, sont stériles, et non fertiles.

**c) Faux.** Les huîtres C résultent d'une fécondation entre les huîtres B et les huîtres A.

**d) Faux.** Les huîtres C sont stériles. C'est leur triploïdie qui entraîne la stérilité.

**INFO**

La cause principale de la stérilité des huîtres C réside dans l'impossibilité d'appariement de trois chromosomes homologues à la première division de la méiose.



## Transmission de deux caractères chez la drosophile

Chez la drosophile, les caractères « couleur du corps » et « longueur des ailes » sont respectivement codés par deux gènes.

## DOCUMENT 1

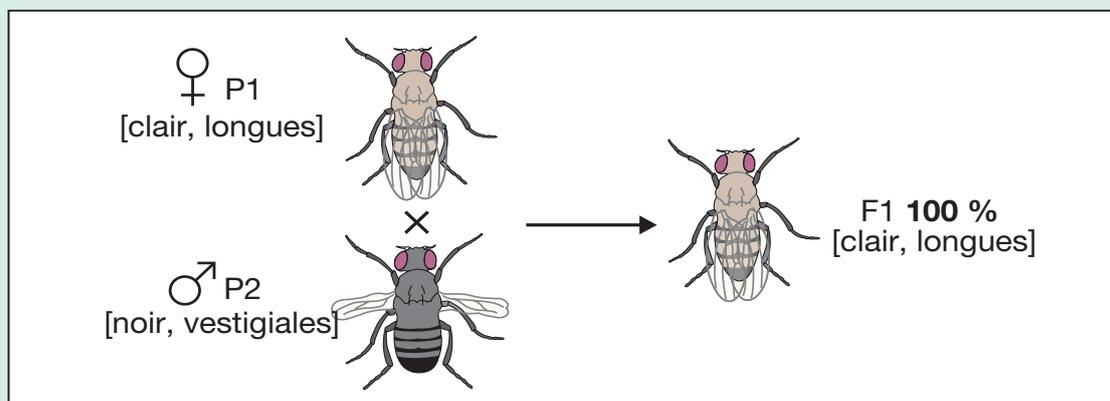
### Caractères, gènes, phénotypes et allèles étudiés dans les croisements réalisés

Gène codant chaque caractère	Gène « couleur du corps »	Gène « longueur des ailes »
Phénotypes possibles pour chaque caractère	[clair] ou [noir]	[longues] ou [vestigiales]
Allèles codant chaque phénotype	$b^+$ codant [clair] $b^-$ codant [noir]	$vg^+$ codant [longues] $vg^-$ codant [vestigiales]

## DOCUMENT 2

### Schéma d'un premier croisement

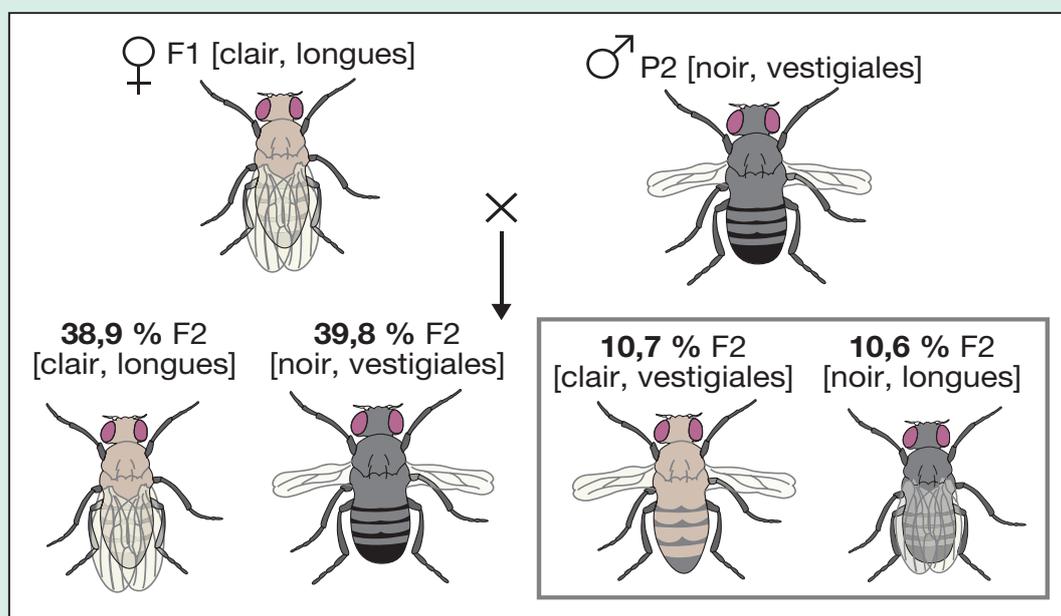
On croise deux lots de drosophiles (P1 et P2) homozygotes pour les deux gènes considérés (c'est-à-dire possédant deux allèles identiques pour chaque gène) et de phénotypes différents. On obtient une première génération de drosophiles appelée « F1 ».



D'après [pedagogie.ac-toulouse.fr/svt](http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt)

**DOCUMENT 3 Schéma d'un second croisement (croisement test)**

On croise les drosophiles F1 issues du premier croisement (document 2) avec des parents P2. On obtient une seconde génération de drosophiles appelée « F2 ».



D'après [pedagogie.ac-toulouse.fr/svt](http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt)

► À partir de l'étude des documents, identifiez la bonne réponse parmi les quatre proposées pour chaque affirmation.

- Le premier croisement (document 2) permet de conclure que :
  - l'allèle  $b^+$  est dominant par rapport à l'allèle  $b^-$  et que l'allèle  $vg^+$  est dominant par rapport à l'allèle  $vg^-$ .
  - l'allèle  $b^+$  est récessif par rapport à l'allèle  $b^-$  et que l'allèle  $vg^+$  est récessif par rapport à l'allèle  $vg^-$ .
  - les gènes codant la couleur du corps et la longueur des ailes sont portés par le même chromosome.
  - les gènes codant la couleur du corps et la longueur des ailes sont portés par des chromosomes différents.
- Les drosophiles obtenues en F1 sont :
  - homozygotes pour les deux gènes considérés.
  - hétérozygotes pour les deux gènes considérés.
  - homozygotes pour le gène codant la couleur du corps et hétérozygotes pour le gène codant la longueur des ailes.
  - homozygotes pour le gène codant la longueur des ailes et hétérozygotes pour le gène codant la couleur du corps.

3. À l'issue du second croisement (document 3), les proportions des phénotypes encadrés s'expliquent par :
- un brassage génétique interchromosomique lors des méioses parentales.
  - un brassage génétique intrachromosomique lors des méioses parentales.
  - l'absence totale de crossing-over lors des méioses parentales.
  - des duplications géniques lors des méioses parentales.

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Le premier croisement permet de connaître, pour chaque caractère, le phénotype dominant et le phénotype récessif (et donc, pour chaque gène, l'allèle dominant et l'allèle récessif). Les drosophiles P2 sont donc homozygotes et possèdent deux allèles récessifs pour chaque gène.
- Dans le deuxième croisement, qualifié de « croisement test », les parents P2 ne produisent que des **gamètes  $b^{-}vg^{-}$** , donc possédant les deux allèles récessifs. En conséquence, les phénotypes de la descendance du croisement test renseignent sur les **types** de gamètes produits par les drosophiles F1 et sur leurs **pourcentages**.
- Ces pourcentages renseignent sur le type de brassage à l'origine des **gamètes recombinés  $b^{+}vg^{-}$  et  $b^{-}vg^{+}$** .

On parle de brassage interchromosomique si les deux gènes sont situés sur deux chromosomes non homologues, et de brassage intrachromosomique lorsque les deux gènes sont situés sur le même chromosome.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- Au cours de la méiose, des échanges de fragments de chromatides (crossing-over) se produisent entre chromosomes homologues.
- Les chromosomes ainsi remaniés subissent un brassage interchromosomique résultant de la migration aléatoire des chromosomes homologues lors de la première division de la méiose.



## CORRIGÉ

## 9

1. **a) Exact.** La drosophile F1 a le corps clair, ce qui indique que l'allèle  $b^+$  est dominant et l'allèle  $b^-$  récessif. De même, F1 a les ailes longues, donc l'allèle  $vg^+$  est dominant alors que l'allèle  $vg^-$  est récessif.

**b) Faux.** Il s'agit de l'affirmation opposée à la proposition a).

**c) Faux.** La proposition est correcte, mais le document 2 ne permet pas à lui seul de savoir si les gènes sont portés par le même chromosome ou s'ils se trouvent sur des chromosomes différents.

**d) Faux.** Le document 2 ne permet pas non plus de tirer une telle conclusion. De plus, la proposition est fautive.

2. **b) Exact.** Les parents P1 et P2 étant homozygotes, ils ont pour génotypes :

- P1 :  $b^+//b^+, vg^+//vg^+$  (ou  $b^+vg^+//b^+vg^+$  si les gènes sont liés) ;
- P2 :  $b^-//b^-, vg^-//vg^-$  (ou  $b^-vg^-//b^-vg^-$ ).

Les F1 ont donc pour génotype  $b^+//b^-, vg^+//vg^-$  (ou  $b^+vg^+//b^-vg^-$ ).

Ces F1 sont donc hétérozygotes, car ils possèdent des allèles différents pour chaque gène.

**a) c) et d) Faux.** Le raisonnement justifiant la proposition b) exclut ces propositions.

3. **b) Exact.** Le résultat de ce croisement test (test-cross) indique que les pourcentages des phénotypes recombinés de la descendance sont nettement inférieurs à ceux des phénotypes parentaux. Cela montre que les deux gènes sont situés **sur le même chromosome** (gènes liés). L'apparition de phénotypes recombinés [corps clair, ailes vestigiales] et [corps noir, ailes longues] s'explique par un brassage intrachromosomique lors des méioses chez la femelle F1 (production de gamètes recombinés).

**a) Faux.** Dans le cas du brassage interchromosomique, les quatre phénotypes obtenus à l'issue du croisement test auraient présenté la même fréquence (25 %, 25 %, 25 %, 25 %).

**c) Faux.** Le brassage intrachromosomique résulte de crossing-over.

**d) Faux.** Les données fournies n'ont aucun rapport avec la duplication génique (production de deux gènes à partir d'un seul).

## Les mécanismes participant à l'évolution de la biodiversité

### ■ Question de synthèse (5 points)

La biodiversité actuelle peut être considérée comme la diversité des espèces aujourd'hui existantes. Elle résulte de la transformation des populations au cours du temps.

► Montrez, à partir d'exemples, comment la dérive génétique et la sélection naturelle participent à l'évolution de la biodiversité.

*L'exposé doit être structuré avec une introduction et une conclusion. Vous vous appuyerez sur un exemple pour chaque mécanisme.*

### ■ QCM (3 points)

#### Crossing-over, gènes de développement, polyploïdie

► Indiquez la réponse exacte pour chaque série de propositions.

1. Les crossing-over inégaux sont :

- a) une anomalie de la méiose qui permet parfois de générer de la diversité génétique.
- b) une anomalie de la méiose qui n'a jamais aucune conséquence génétique.
- c) un processus normal de la méiose qui ne produit aucune anomalie.
- d) un processus normal de la méiose qui produit de la diversité.

2. De grands changements phénotypiques peuvent apparaître si l'expression des gènes de développement varie :

- a) en intensité et en chronologie obligatoirement.
- b) en intensité ou en chronologie.
- c) en intensité uniquement, non en chronologie.
- d) en chronologie uniquement, non en intensité.

3. La polyploïdie qui existe chez les plantes :
- a) peut s'écrire  $2n$  si elle fait suite à un doublement du stock de chromosomes.
  - b) peut s'écrire  $2n$  et résulte d'une hybridation.
  - c) peut s'écrire  $4n$ , si elle fait suite à un doublement du stock de chromosomes.
  - d) peut s'écrire  $4n$  et résulte d'une hybridation.

## LES CLÉS DU SUJET

Le sujet, axé sur la biodiversité, est proposé en deux parties : une question de synthèse portant sur la diversification des êtres vivants au cours du temps et un QCM centré sur les processus génétiques en tant que tels.

### ■ Question de synthèse

#### Comprendre le sujet

- Il s'agit ici d'expliquer comment les populations d'une espèce évoluent génétiquement et phénotypiquement au cours du temps. En conclusion, il sera intéressant d'évoquer la façon dont les mécanismes en jeu peuvent conduire à de nouvelles espèces.
- Dérive génétique et sélection naturelle ne sont pas les mécanismes qui créent des innovations génétiques dans les populations. C'est l'œuvre des mutations à l'origine de nouveaux allèles. En revanche, sélection naturelle et dérive génétique agissent sur le devenir des innovations génétiques. Elles déterminent les changements de la fréquence des allèles des gènes dans les populations au cours du temps, changements qui peuvent aller jusqu'à la fixation d'un nouvel allèle dans la population (sa fréquence est alors de 100 %). Le sujet demande donc d'expliquer comment ces mécanismes réalisent cela.
- Le sujet vous demande également de vous appuyer sur un exemple pour chaque mécanisme, ce qui est rarement le cas dans les questions de type 1. Aucun exemple n'étant imposé par le programme, vous êtes libre de choisir celui qui vous semble le plus facile à exposer. Il ne s'agit pas de faire une étude exhaustive de l'exemple. Ce dernier doit servir uniquement de support pour dégager les idées essentielles relatives à la sélection naturelle et à la dérive génétique. Dans le corrigé qui vous est proposé, les exemples choisis sont facilement compréhensibles même si vous ne les avez pas étudiés.

**Mobiliser ses connaissances**

Sous l'effet de la pression du milieu, de la concurrence entre êtres vivants et du hasard, la diversité des populations change au cours des générations. L'évolution est la transformation des populations qui résulte de ces différences de survie et du nombre de descendants.

**■ QCM****Comprendre le sujet**

- Le QCM se rapporte aux mécanismes de diversification génétique autres que les mutations ponctuelles de la séquence codante des gènes.
- Les séries 1 et 3 sont construites suivant un modèle de QCM fréquemment proposé au bac. Dans une telle série de propositions, on considère deux caractères qui se présentent chacun sous deux aspects. Il faut considérer d'abord un caractère, ce qui permet d'éliminer deux propositions, puis on utilise ensuite le deuxième caractère pour déterminer laquelle des deux propositions restantes est exacte.

**Mobiliser ses connaissances**

Des anomalies peuvent survenir au cours de la méiose. Un crossing-over inégal aboutit parfois à la duplication d'un gène.

**CORRIGÉ 10****■ Question de synthèse****Introduction**

Le sujet précise que la biodiversité actuelle est issue de la transformation des populations au cours du temps.

Une population désigne un groupe d'individus qui se croisent entre eux et qui ont une moindre probabilité de se croiser avec des individus d'autres populations appartenant à la même espèce. Ce qui caractérise une population naturelle est sa **diversité génétique**, traduite par le polymorphisme de nombreux gènes. Mais cette diversité génétique évolue au cours du temps, d'une part à la suite de **mutations** qui engendrent de nouveaux allèles et, d'autre part, par des mécanismes tels que la **sélection naturelle** et la **dérive génétique**. Nous allons envisager cette évolution à partir d'un exemple pour chacun de ces deux mécanismes.



## I. La sélection naturelle

- À la fin des années 1960, dans la région de Montpellier, on a réalisé l'épandage d'insecticides dans un rayon de 20 km à partir du bord de mer afin de limiter la population de moustiques. On a constaté que les moustiques, et particulièrement leurs larves, étaient **sensibles à l'action des insecticides**.

- Quelques années plus tard, on s'est rendu compte que les mêmes doses d'insecticide n'avaient plus d'effet sur les moustiques : ils étaient **devenus résistants**. En revanche, la population de moustiques régionaux de la zone non traitée était toujours sensible aux insecticides.

Il y a donc eu une **évolution** de la population de moustiques sous l'action d'un facteur, l'introduction d'un insecticide, qui a **modifié l'environnement** de ces insectes.

- L'insecticide utilisé agissait en inhibant l'action d'une enzyme dont le rôle est crucial dans le fonctionnement des synapses neuromusculaires. Chez les moustiques résistants, il a été observé que le gène codant pour cette enzyme était muté, de sorte que l'action de l'insecticide était affaiblie. L'allèle mutant pouvait aussi bien exister dans la population avant l'épandage d'insecticides qu'être apparu après, à la suite d'une mutation.

Le fait important est qu'il s'est répandu au fil des années dans la population. **Le mécanisme en jeu est la sélection naturelle.**

En présence d'un environnement contenant des insecticides, la mortalité des moustiques sensibles à l'état larvaire était beaucoup plus importante que celle des moustiques résistants. Ces derniers, participant donc davantage à la reproduction, ont davantage transmis leurs allèles à la génération suivante, et en premier lieu celui à l'origine de la résistance. De génération en génération, la fréquence de l'allèle muté a alors augmenté dans la population.

- La sélection naturelle qui, dans cet exemple, tend à diminuer la diversité phénotypique, résulte, dans un environnement donné, d'une **reproduction différentielle** des phénotypes de la population.

- En généralisant, la sélection naturelle implique :

- une variation phénotypique au sein de la population ;
- un déterminisme génétique de cette variation phénotypique ;
- une reproduction différentielle des phénotypes.

## II. La dérive génétique

• Le système des groupes sanguins A, B, O est dû à un gène dont on connaît trois allèles : A, B et O. La fréquence de ces trois allèles est variable dans les populations humaines et il existe certaines populations, comme celle des Amérindiens d'Amérique du Sud, qui ne possèdent que l'allèle O.

Cet allèle est dit « fixé » dans cette population.

• La sélection naturelle n'explique pas cette variabilité au sein des populations. Ainsi, aucune donnée épidémiologique ou expérimentale n'a établi que le groupe sanguin O est plus favorable en Amérique du Sud que dans les autres régions du monde.

• La diversité des allèles A, B et O que l'on retrouve chez d'autres primates devait exister dans les premières populations humaines. Elle a été perdue chez les Amérindiens et a évolué différemment dans les autres populations.

• Le mécanisme aboutissant à la fixation d'un allèle dans une population est la **dérive génétique**. Celle-ci repose, à chaque génération, sur un échantillonnage aléatoire des allèles des gènes de la population. Sur les multiples gamètes produits par les individus d'une génération, seul un petit nombre contribue à la génération suivante, ne serait-ce que par le caractère aléatoire de la méiose et de la fécondation. Il en résulte que la fréquence des allèles des gènes **fluctue de génération en génération**. On a montré que, par ce seul mécanisme d'échantillonnage aléatoire de la population de descendants, au bout d'un nombre de générations plus ou moins grand, un allèle peut se fixer dans une population : sa fréquence est alors de 100 %.

• Ce mécanisme de dérive génétique est d'autant plus efficace que la population est isolée (il n'y a pas d'apports d'allèles nouveaux provenant d'autres populations) et surtout que **son effectif est faible**. Cela a été le cas des Amérindiens d'Amérique du Sud.

• Puisque le hasard joue un rôle essentiel dans l'évolution de la fréquence des allèles par la dérive, il peut intervenir de façon différente suivant les populations. Cela explique la diversité des fréquences alléliques du gène du système A, B, O dans les populations humaines actuelles, bien qu'elle tende à disparaître par suite des migrations entre populations.

### INFO

Les Amérindiens sont issus des populations d'Asie qui, il y a une dizaine de milliers d'années, ont quitté l'Asie pour gagner l'Amérique par le détroit de Béring.



## Bilan

Les mutations sont, dans tous les cas, à l'origine de la diversité génétique des populations. Ces mutations se font de manière aléatoire et non en fonction de l'avantage qu'elles peuvent procurer : **le hasard joue un rôle important dans la création de la biodiversité.**

Le hasard intervient aussi fortement dans **l'évolution de cette biodiversité** par la **dérive génétique.**

En revanche, l'évolution de la biodiversité par **sélection naturelle** est déterminée par les caractéristiques du milieu dans lequel se trouve la population. Mais ces caractéristiques de l'environnement peuvent varier tout à fait indépendamment des populations et entraîner un changement dans la sélection naturelle et, par là, dans la biodiversité de celles-ci.

Ainsi, de l'importance du hasard et des changements de l'environnement, l'évolution biologique n'est jamais prévisible.

## ■ QCM

**1. a) Exact.** Le crossing-over inégal est en effet une anomalie qui peut parfois entraîner une duplication de gènes (origine des familles multigéniques).

**b) Faux,** à cause de l'adverbe « jamais ».

**c) et d) Faux.** Le crossing-over inégal n'est pas un processus normal. C'est une anomalie, comme l'indique la réponse **a)**.

**2. b) Exact.** Il suffit d'une variation de l'intensité de l'expression d'un gène ou du moment où il s'exprime au cours du développement pour que cela entraîne des modifications phénotypiques.

**a) c) et d) Faux,** à cause des adverbes « obligatoirement » et « uniquement ».

**3. c) Exact.** Le stock normal de chromosomes étant de  $2n$ , un doublement du stock aboutit effectivement à  $4n$  chromosomes.

**a) et b) Faux.** La diploïdie n'est pas une polyploïdie. Pour qu'il y ait polyploïdie, il faut plus de deux jeux de  $n$  chromosomes ( $3n, 4n\dots$ ).

**d) Faux.** Une hybridation ne conduit généralement qu'à un organisme dont les cellules ne possèdent que  $2n$  chromosomes. Toutefois, dans certains cas, une hybridation peut mettre en jeu des gamètes diploïdes résultant d'une méiose anormale et conduire directement à un organisme à  $4n$  chromosomes.

## Évolution de la population de moustiques du Languedoc

De 1968 à 2002, la population de moustiques *Culex pipiens L.* est contrôlée dans le sud de la France par l'épandage d'insecticides organophosphorés sur les étendues d'eau dans lesquelles se développent leurs larves. On s'intéresse à la résistance développée par certains moustiques à ces insecticides dans la région de Montpellier.

► À partir de l'étude des documents et de l'utilisation des connaissances :

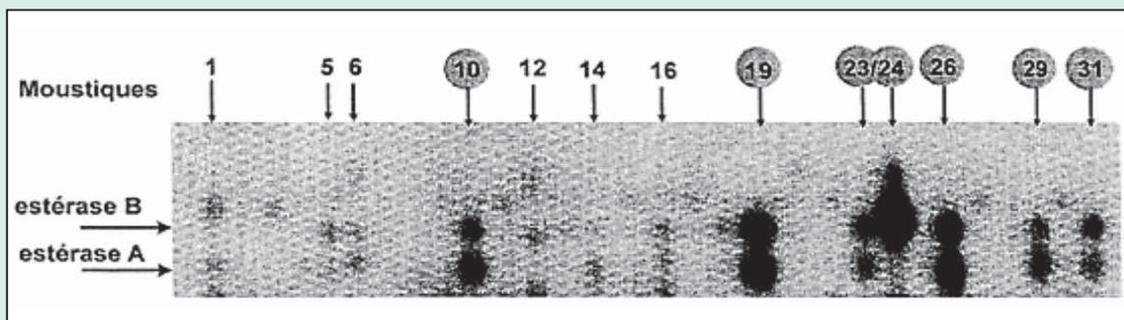
- expliquer la résistance de certains moustiques aux insecticides organophosphorés ;
- montrer comment la sélection naturelle pourrait expliquer la proportion de formes résistantes dans les populations de la zone 2 étudiée.

## DOCUMENT 1

### Quantité d'estérases chez les moustiques étudiés

Les estérases A et B sont des enzymes naturellement produites par tous les moustiques. Les protéines de différents moustiques de la région de Montpellier ont été séparées par électrophorèse. Les estérases apparaissent sous la forme de taches noires dont la taille est proportionnelle à la quantité d'enzyme produite par le moustique.

#### a. Électrophorèse



**b. Sensibilité des différents moustiques**

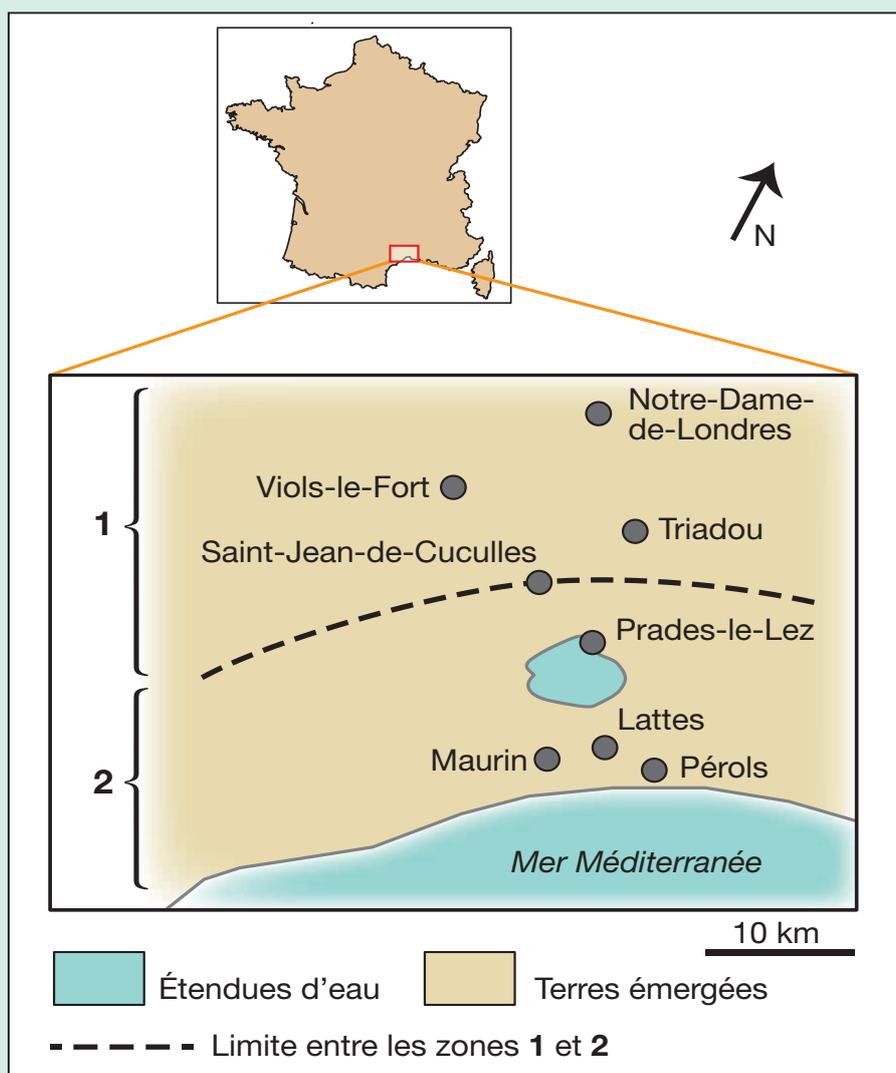
10, 19, 23, 24, 26, 29 et 31	Moustiques résistants aux insecticides organophosphorés
1, 5, 6, 12, 14 et 16	Moustiques sensibles aux insecticides organophosphorés

D'après [www.ac-grenoble.fr](http://www.ac-grenoble.fr), consulté en octobre 2017

**DOCUMENT 2****Étude de la mortalité des larves de moustiques dans la région de Montpellier**

En 2002, des larves de moustiques ont été échantillonnées dans différentes communes de la région de Montpellier.

La carte ci-dessous repère les sites d'échantillonnage.



- La **zone 1**, située au nord, n'a jamais été traitée avec des insecticides organophosphorés.
- La **zone 2**, située au sud, a été traitée avec des insecticides organophosphorés depuis 1968. À cette époque, ces insecticides étaient très efficaces dans cette zone et tuaient la majorité des moustiques. Des larves prélevées en 2002 dans les zones 1 et 2 ont été soumises à une dose d'insecticide organophosphoré (cette dose suffisait à tuer presque tous les moustiques en 1968, dans toute la région). Vingt-quatre heures après traitement, on compte les larves survivantes. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

	Commune	Nombre total de larves prélevées	Larves survivantes après 24 heures
Zone 1	Notre-Dame-de-Londres	196	41
	Viols-le-Fort	167	74
	Saint-Jean-de-Cuculles	154	81
Zone 2	Prades-le-Lez	132	112
	Lattes	137	95
	Maurin	227	227
	Pérols	168	147

D'après [www.acces.ens-lyon.fr](http://www.acces.ens-lyon.fr), consulté en octobre 2017

ENS. SPÉCIFIQUE

### DOCUMENT 3 Action des estérases sur le parathion

Le parathion est, comme tous les insecticides organophosphorés, un ester qui altère le fonctionnement du système nerveux du moustique, entraînant sa mort. Pour qu'il soit efficace, il doit pénétrer dans l'organisme de l'insecte et atteindre le système nerveux sous forme d'ester. Les estérases sont des enzymes qui catalysent des réactions d'hydrolyse comme celle présentée ci-dessous :



D'après [www.acces.ens-lyon.fr](http://www.acces.ens-lyon.fr), consulté en octobre 2017



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Le sujet comporte deux parties ; la première partie demande d'expliquer les caractéristiques génétiques qui permettent à des moustiques de résister aux insecticides organophosphorés comme le parathion. Cela implique d'exploiter les informations fournies par les **documents 1 et 3**.
- La deuxième partie nécessite d'expliquer comment la sélection naturelle a pu entraîner l'évolution des phénotypes des moustiques dans la région de Montpellier de 1968 à 2002. Cela implique d'exploiter les informations du **document 2** à l'aide de vos connaissances.
- On peut parfaitement traiter le sujet en suivant cette progression. Le fait majeur étant l'évolution phénotypique des populations de moustiques suite à l'épandage d'insecticides, nous avons préféré commencer par ce point dans le corrigé. Nous rechercherons ensuite l'origine de la résistance, qui est génétique puisque relative aux gènes codant pour les estérases. Il s'agit, pour terminer, d'expliquer comment la sélection naturelle a contribué à la généralisation du génotype résistant.

**■ Mobiliser ses connaissances**

Sous l'effet de la pression du milieu, la diversité des populations change au cours des générations. L'évolution est la transformation des populations qui résulte de ces différences de survie et du nombre de descendants.

**CORRIGÉ 11****I. Évolution du phénotype des larves de moustiques**

- En 1968, les moustiques de la zone 2 étaient pratiquement tous sensibles aux insecticides (**document 2**).
- En 2002, avec les mêmes doses d'insecticides, la mortalité des larves de moustiques pour les différents sites de la zone 2, était :
  - de 0 sur 227 (0 %) à Maurin ;
  - de 21 sur 168 (12 %) à Pérols ;
  - de 31 % à Lattes ;
  - de 15 % à Prades-le-Lez.



Ainsi, dans la zone 2, il y a eu une **évolution très importante vers le phénotype résistant** des populations de moustiques, puisque la mortalité par les insecticides, pratiquement de 100 % en 1968, n'est plus que de 31 % au maximum, et même 0 % dans certaines localités, en 2002.

- Dans la zone 1, qui n'a jamais été traitée aux insecticides, la mortalité des larves, suite au traitement par les insecticides en 2002, a été :
  - de 79 % à Notre-Dame-de-Londres ;
  - de 56 % à Viols-le-Fort ;
  - de 47 % à Saint-Jean-de-Cuculles.

Dans cette zone, il y a donc également eu depuis 1968 une évolution des populations de moustiques vers le phénotype résistant, mais dans des proportions moindres que dans la zone 2.

**INFO**

L'évolution modérée dans la région 1 s'explique par la migration de moustiques résistants de la zone 2 à la zone 1, ayant pour conséquence la possibilité de croisement entre moustiques résistants et moustiques sensibles.

## II. Les caractéristiques moléculaires des moustiques résistants

- Le document 1 montre que les moustiques résistants produisent des **esté-rases A et B en grande quantité**, contrairement aux moustiques sensibles aux insecticides.
- Le document 3 indique que les esté-rases sont des enzymes qui catalysent **l'hydrolyse du parathion** (insecticide organophosphoré) et précise que les **produits de cette hydrolyse sont non toxiques** pour les moustiques. Plus les moustiques produisent des esté-rases, plus la quantité de molécules d'insecticide détruites est importante.

**Les moustiques sont d'autant plus résistants qu'ils produisent beaucoup d'esté-rases.**

## III. L'évolution par sélection naturelle des populations de moustiques

- Nous l'avons vu précédemment, en 1968, dans les zones 1 et 2, presque tous les moustiques étaient sensibles.
- Entre 1968 et 2002, la fréquence des moustiques résistants, donc produisant des esté-rases en grande quantité, a considérablement augmenté dans la zone 2, beaucoup moins dans la zone 1. La seule différence entre les zones 1 et 2 étant le traitement par insecticides : seule la zone 2 a été traitée, pendant une trentaine d'années. Cela signifie que ce traitement a eu pour conséquence l'évolution de la population de moustiques de la zone 2 vers la résistance.



• Cette évolution s'est effectuée par sélection naturelle. En 1968, quelques moustiques des zones 1 et 2 étaient naturellement résistants aux insecticides : ils possédaient donc un génotype qui leur permettait de fabriquer beaucoup d'estérases. Dans la zone 2, ces moustiques résistants participaient ainsi davantage à la reproduction que les moustiques sensibles et transmettaient davantage les gènes qui permettent de fabriquer beaucoup d'estérases à la génération suivante. De génération en génération, le nombre d'individus portant ces gènes de résistance a alors augmenté.

Les moustiques résistants ont, en somme, été sélectionnés par les caractéristiques de leur milieu de vie.

## Bilan

Cette étude de l'évolution des populations de moustiques de la région de Montpellier illustre les trois conditions qui permettent une évolution par sélection naturelle :

- une **différence phénotypique** : moustiques résistants ou non aux insecticides ;
- une **base génétique à cette différence** phénotypique : génotype permettant de fabriquer peu ou beaucoup d'estérases ;
- une **reproduction différentielle due aux caractéristiques de l'environnement** : présence d'insecticides.



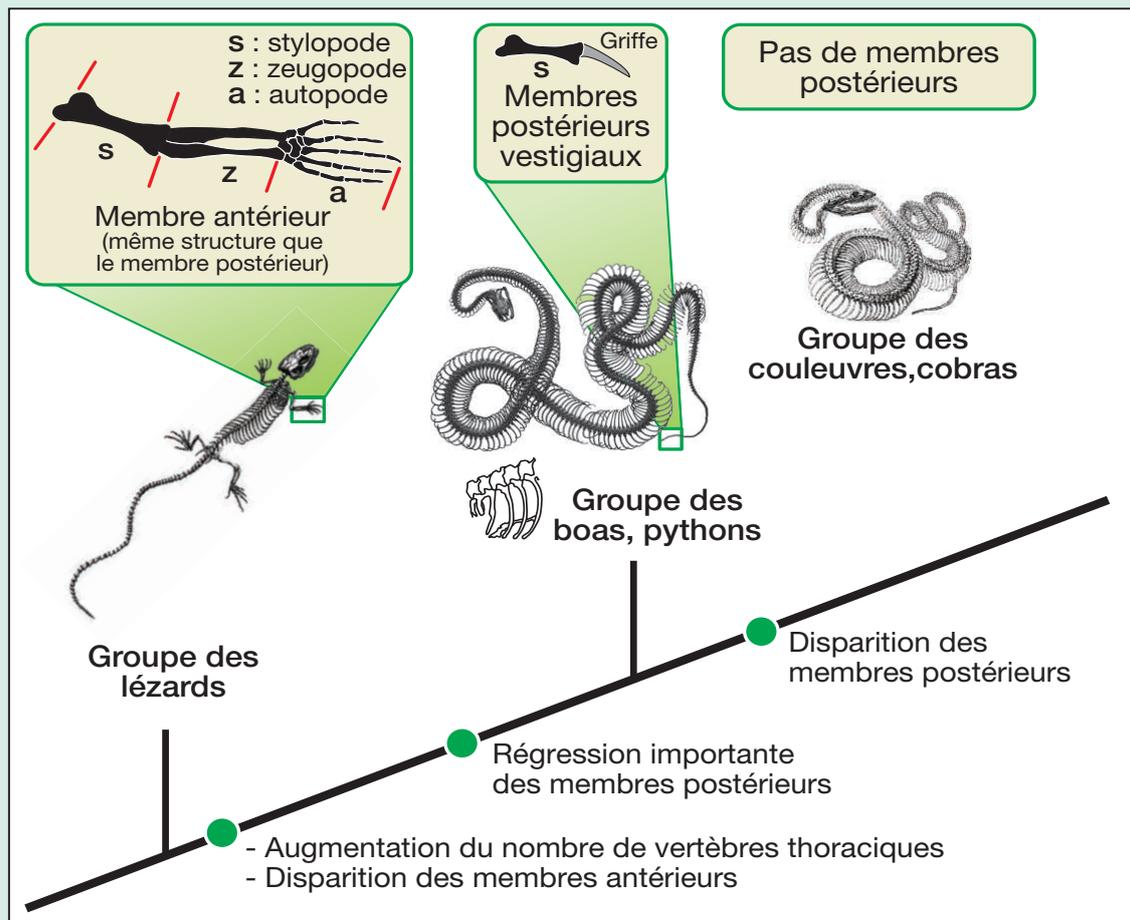
## Origine de la réduction (ou disparition) des membres chez les serpents

► À partir de l'étude des documents et des connaissances, expliquez l'origine de la réduction ou de la perte des membres chez les serpents.

ENS. SPÉCIFIQUE

DOCUMENT DE RÉFÉRENCE

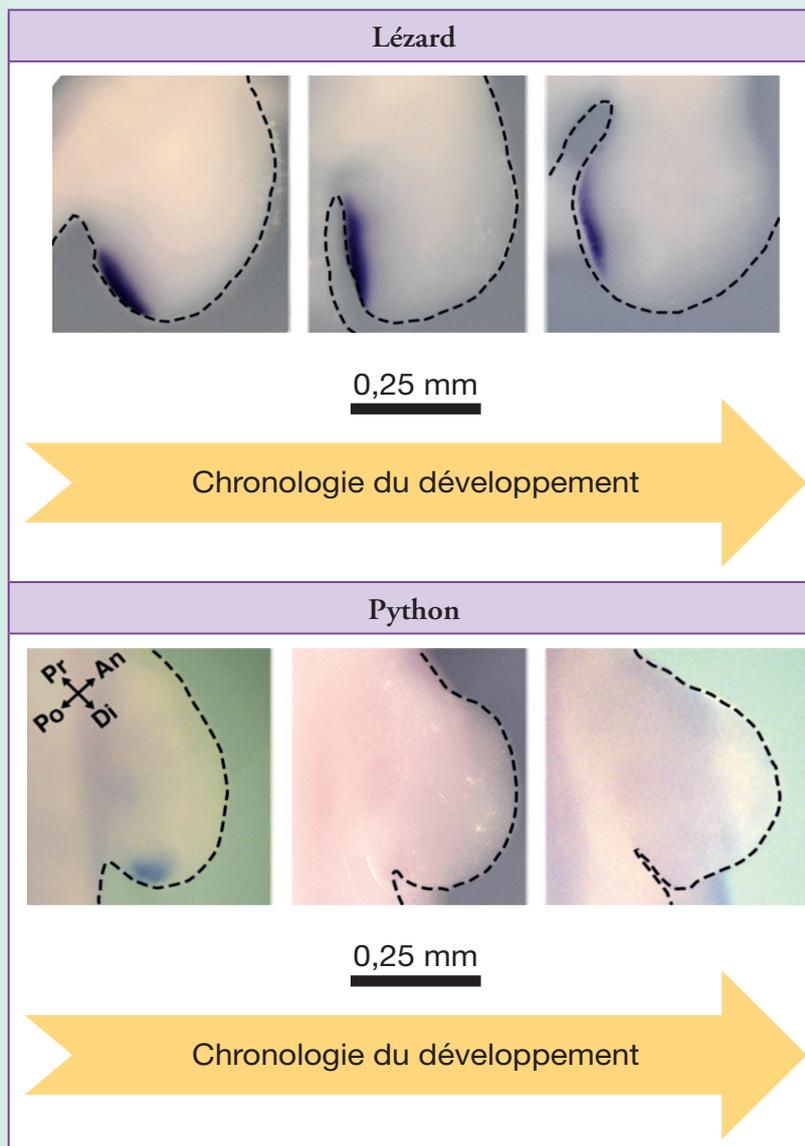
Arbre phylogénétique simplifié de quelques vertébrés



## DOCUMENT 1

### Expression du gène *Sonic HedgeHog* (Shh) dans les ébauches de membres postérieurs à différents stades du développement embryonnaire d'un lézard et d'un python

Le gène Shh est un gène du développement participant à la formation des membres antérieurs et postérieurs des vertébrés.

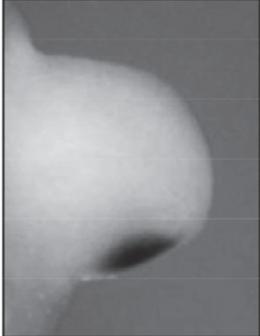
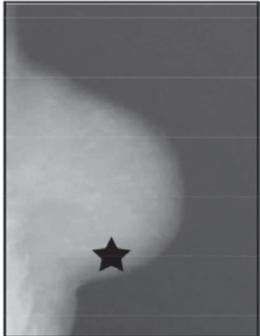


Les pointillés délimitent l'ébauche du membre postérieur de l'embryon. Les taches noires correspondent aux zones d'expression du gène Shh.

Leal et Cohn, *Current Biology*, 26, 2017

## DOCUMENT 2

**Rôle de ZRS, séquence d'ADN régulatrice du gène Shh**

Manipulations génétiques	Expression du gène Shh par localisation de l'ARNm de Shh (zones sombres) dans les bourgeons de membres antérieurs d'embryons de souris âgés de 10,5 jours
Témoin : séquence ZRS de souris non modifiée (mZRS)	 <p>0,1 mm</p>
Suppression de la séquence ZRS de souris (mZRS)	 <p>0,1 mm</p>
Insertion de la séquence ZRS de python (pZRS) en remplacement de la séquence ZRS de souris (mZRS)	 <p>0,1 mm</p> <p>★ faible quantité d'ARNm de Shh mesurée</p>

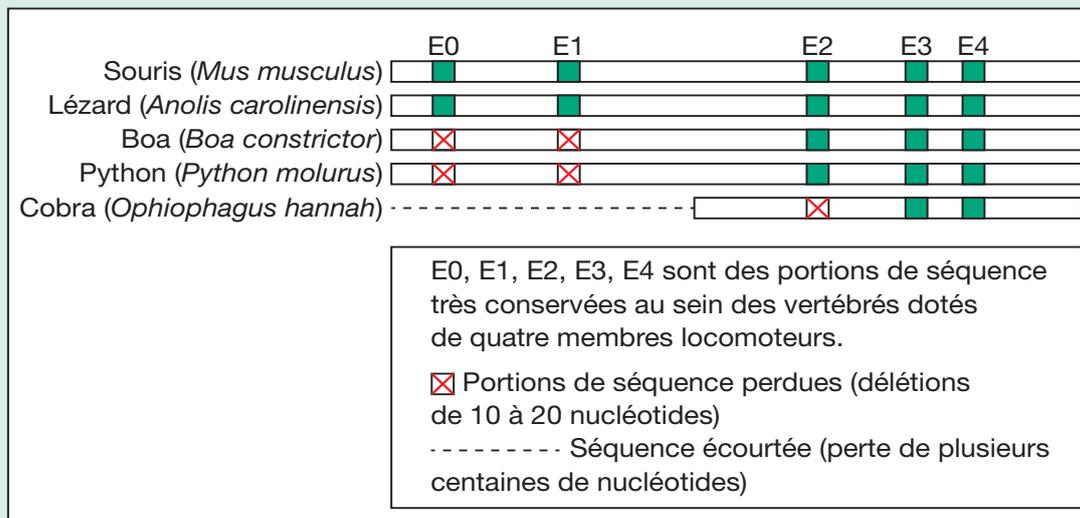
Kvon *et al.*, *Cell*, 167, 2016

ENS. SPÉCIFIQUE



**DOCUMENT 3**

**Représentation schématique de la séquence ZRS de différents vertébrés**



Kvon *et al.*, *Cell*, 167, 2016

**DOCUMENT 4**

**Réactivation de la séquence ZRS de souris « serpentisées » par génie génétique**

La séquence pZRS(r) est obtenue par génie génétique en insérant la portion E1 de la séquence ZRS de souris dans la séquence ZRS du python.

Séquences ZRS insérées en remplacement de la séquence ZRS de souris	Activité de ZRS	Phénotype des souris
<p>pZRS</p>	-	Souris « serpentisées » : membres antérieurs et postérieurs atrophiés
<p>pZRS(r)</p>	+	Membres antérieurs et postérieurs normalement développés

Kvon *et al.*, *Cell*, 167, 2016

**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Le document de référence indique que la réduction ou la perte des membres chez les serpents a été acquise durant l'évolution de leur lignée à partir d'un ancêtre possédant des membres. Le sujet consiste, à partir des documents, à préciser les caractéristiques des innovations génétiques survenues dans la lignée des serpents qui en sont la cause.
- Même si les informations sur la séquence codante du gène Shh ne sont pas directement fournies, il faut bien saisir qu'elle n'est pas en cause. Ce ne sont pas des mutations de la séquence codante du gène Shh dans la lignée des serpents qui ont entraîné l'atrophie des membres.
- Ce sont des mutations d'une séquence régulatrice du gène Shh affectant l'expression du gène qui sont en cause, et c'est cela qu'il faut établir. La notion de séquence régulatrice n'est pas explicite dans le programme, mais le document 3 donne l'information nécessaire sur sa fonction.
- Dans cet ensemble de documents, on révèle l'expression du gène Shh par la présence ou non dans les bourgeons des membres de l'ARNm du gène Shh. Sa présence indique que le gène s'exprime.

**■ Mobiliser ses connaissances**

S'agissant des gènes impliqués dans le développement, des formes vivantes différentes peuvent résulter de variations dans la chronologie et l'intensité d'expression de gènes plus que d'une différence génétique de la séquence codante de ces gènes.

ENS. SPÉCIFIQUE

**CORRIGÉ** 12**Introduction**

L'arbre phylogénétique du document de référence indique que l'ancêtre commun aux lézards et aux serpents possédait des membres. L'absence ou la réduction importante des membres chez les serpents résulte d'innovations évolutives apparues dans leur lignée.

À partir des documents, nous allons étudier les **mécanismes génétiques** responsables de cette évolution.



## I. Comparaison de l'expression du gène Shh chez le python et le lézard (document 1)

- On envisage ici l'expression du gène Shh au cours du développement embryonnaire du membre postérieur chez le python où ce membre, réduit au stylo-pode, est vestigial, et chez le lézard où son développement est complet.
- L'expression de Shh, comme celle de tous les gènes, s'effectue en deux étapes :
  - la **transcription** (synthèse d'ARN messager) ;
  - la **traduction** (synthèse de protéines à partir de l'ARN messager).

La tache noire présente sur certaines photographies du document 1 correspond à l'ARN messager résultant de l'expression du gène Shh.

- Au tout début du développement, le gène s'exprime aussi bien chez le python que chez le lézard, mais de manière moins étendue et moins intense chez le python. Il **cesse rapidement** de s'exprimer chez le python alors qu'il continue à le faire chez le lézard.
- Le gène Shh participant à la formation des membres, on peut émettre l'hypothèse que cette différence d'expression est responsable de la différence du développement des membres chez ces deux vertébrés. En particulier, l'**arrêt précoce** de l'expression du gène chez le python pourrait être la cause de l'existence du **caractère vestigial** du membre postérieur de ce serpent.

## II. Cause de l'arrêt de l'expression du gène Shh chez le python (document 2)

- Chez l'embryon de souris témoin, on constate la présence d'ARN messager dans le bourgeon des membres antérieurs : le **gène Shh s'exprime donc**.

En revanche, chez l'embryon de souris sans séquence régulatrice ZRS du gène Shh, il n'y a pas d'ARN messager : le gène Shh ne s'exprime pas.

**Cette séquence ZRS est donc indispensable à l'expression du gène Shh.**

- La séquence ZRS ne fait pas partie de la séquence codante du gène ; elle n'est pas transcrite en ARN messager, mais elle contrôle son expression, d'où sa qualification de **séquence régulatrice**.
- Lorsque la séquence ZRS de la souris est remplacée par la séquence homologue du python chez un embryon de souris, on constate que le gène Shh s'exprime très faiblement.

On en conclut que la séquence ZRS du python ne déclenche que **de façon très limitée l'expression du gène Shh**.

### III. Raisons de la faible efficacité de la séquence pZRS

- Le document 3 montre que les portions E0, E1, E2, E3, E4 de la séquence ZRS sont très conservées chez les vertébrés dotés de quatre membres.
- Chez le boa et le python, deux de ces portions, E0 et E1, sont absentes (délétions). Ces délétions peuvent être la cause de la taille très réduite des membres postérieurs chez le python et le boa.
- Chez le cobra, la séquence ZRS est considérablement amputée et seules les portions E3 et E4 sont conservées. Cette délétion très importante fait que ZRS doit être totalement inefficace et la cause de l'absence totale de membres chez le cobra.

### IV. Importance de la portion E1 dans le fonctionnement de ZRS (document 4)

- Le remplacement de la séquence ZRS de la souris par celle du python chez un embryon de souris (document 2) entraîne une atrophie des membres.
- En revanche, si la séquence pZRS du python est modifiée par la substitution d'une portion E1 de la souris à la portion E1 du python, elle s'avère capable de déclencher l'expression du gène Shh chez l'embryon de souris et, par là, le développement des membres. Cela montre que la **délétion** de la région E1 dans la séquence ZRS du python est responsable de la très faible expression du gène Shh chez ce serpent, et donc à l'origine de l'**atrophie des membres**.

### Bilan

- Le gène Shh est impliqué dans le développement embryonnaire des membres. Son expression dépend d'une séquence régulatrice ZRS présente chez tous les vertébrés.
- Chez les vertébrés aux membres atrophiés ou absents, la séquence ZRS diffère de celle des vertébrés aux membres développés par des délétions d'au moins deux portions de cette séquence ZRS (E0 et E1).
- Chez le python, la délétion de la portion E1 est responsable de l'expression très faible et très limitée dans le temps du gène Shh, ce qui entraîne l'atrophie des membres postérieurs et l'absence des membres antérieurs.
- Chez le cobra et la couleuvre, les délétions plus importantes de trois portions (E0, E1 et E2) font que la séquence régulatrice ZRS ne permet aucune expression du gène Shh, d'où l'atrophie complète des membres antérieurs et postérieurs.
- Ainsi, une innovation génétique apparue au cours de l'histoire évolutive des serpents, cause de l'atrophie ou de la disparition de leurs membres, est une **mutation entraînant une délétion** d'une portion de la séquence régulant l'expression du gène Shh dans les bourgeons des membres.



Pondichéry • Avril 2017

PRATIQUE DU RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE

Exercice 2 • 5 points

## Une nouvelle espèce d'hominidé : *Homo naledi*

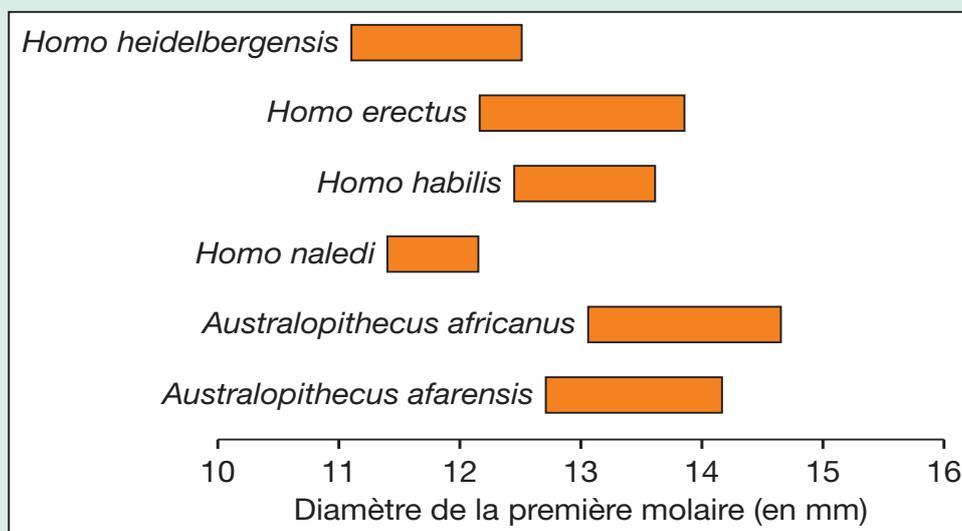
En octobre 2013, une équipe de scientifiques américains a découvert dans une grotte d'Afrique du Sud plus de 1 500 ossements fossilisés appartenant à une quinzaine de grands primates. Selon Lee Berger, le responsable de cette équipe, il s'agit d'une nouvelle espèce du genre *Homo*, baptisée *Homo naledi*. Mais tous les spécialistes n'approuvent pas cette classification. C'est le cas du paléontologue français Yves Coppens, qui déclarait en 2015 dans les colonnes du journal *Le Monde* : « L'*Homo* en question n'est, bien sûr, pas un *Homo* [...] mais un australopithèque de plus ».

► À l'aide de l'exploitation des documents mise en relation avec vos connaissances, montrez que la place d'*Homo naledi* est encore discutable dans le genre *Homo*.

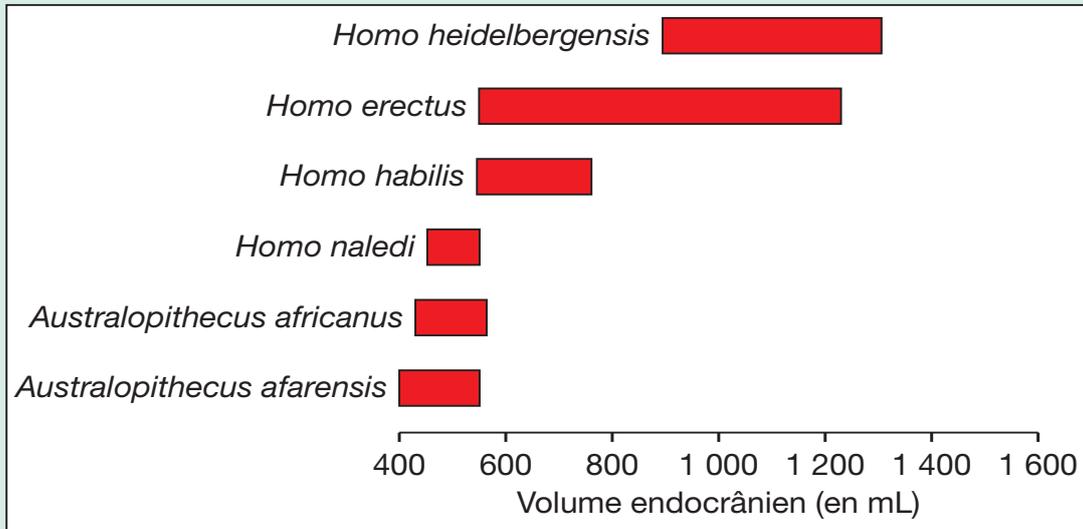
Votre réponse intégrera le tableau comparatif donné en annexe, que les scientifiques ont commencé à remplir à partir de l'analyse des ossements retrouvés d'*Homo naledi*, et que vous complétez.

## DOCUMENT 1

### Comparaison du diamètre de la première molaire d'*Homo naledi* avec celui d'autres espèces fossiles

D'après L. Berger *et al.*, *eLife*, 2015

## DOCUMENT 2

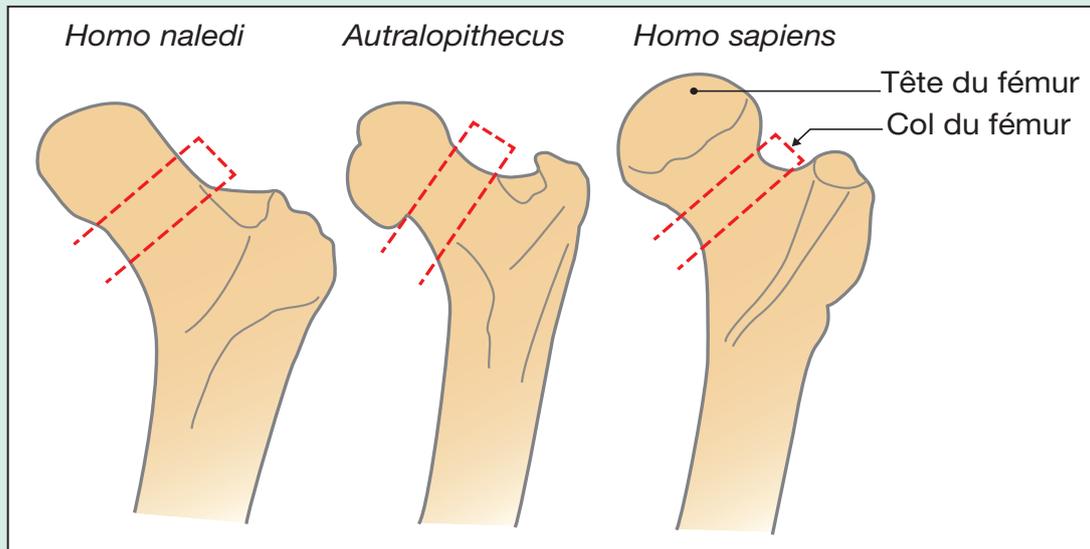
**Comparaison du volume de l'encéphale d'*Homo naledi* avec celui d'autres espèces fossiles**D'après L. Berger *et al.*, *eLife*, 2015

ENS. SPÉCIFIQUE

## DOCUMENT 3

**Quelques caractéristiques des os de la jambe d'*Homo naledi***

a. Vue antérieure de la partie supérieure du fémur d'un *Homo naledi*, comparée à celle de deux autres espèces

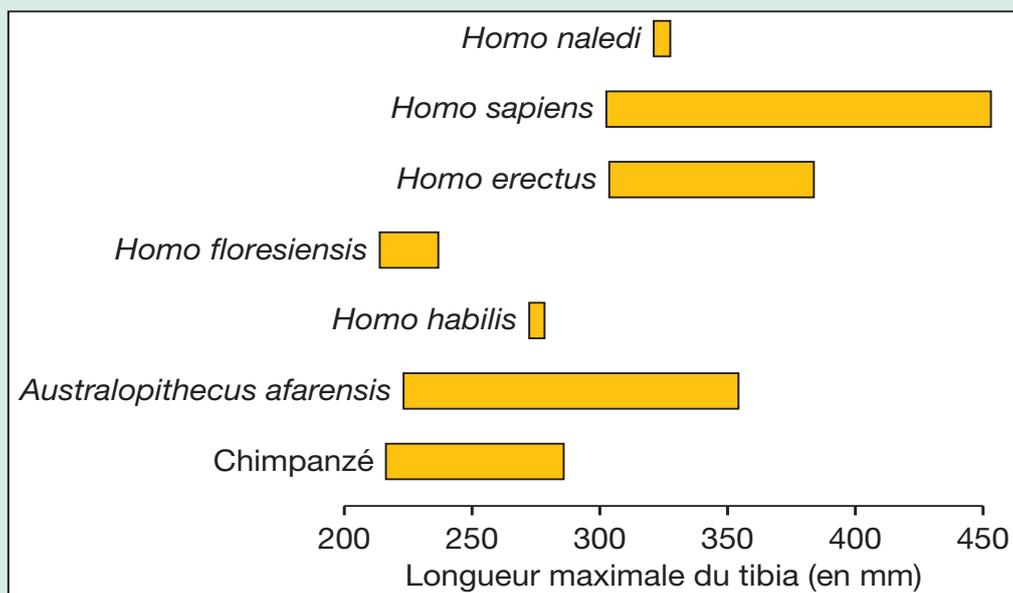


D'après le site pourlascience.fr

Pour comparer cette partie supérieure du fémur, les scientifiques utilisent deux critères :

- la tête du fémur, qui peut être réduite ou élargie ;
- le col du fémur, qui peut être court ou long.

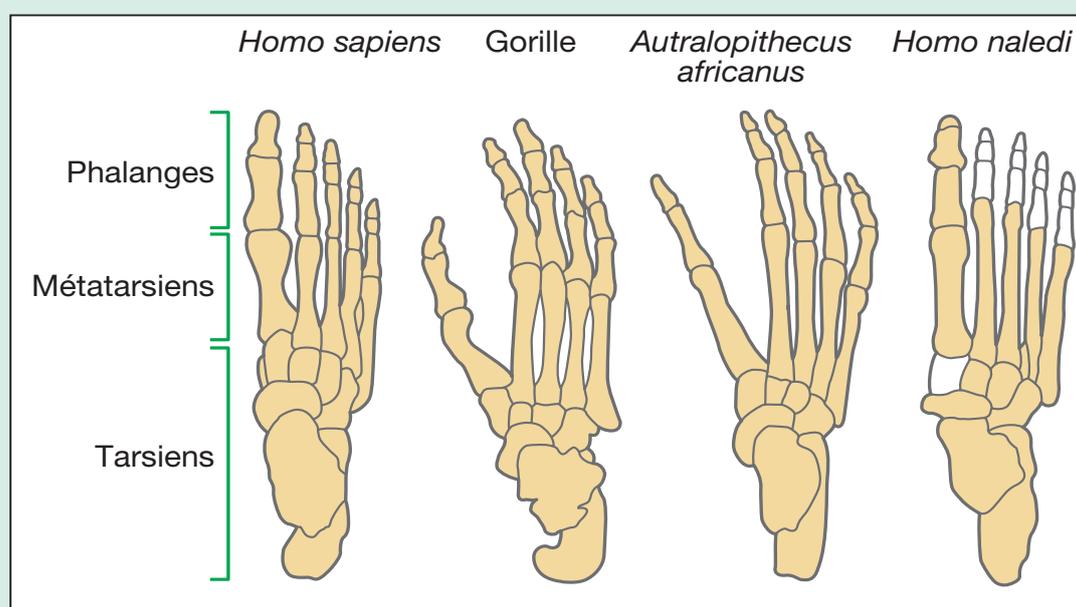
**b. Longueur maximale du tibia d'*Homo naledi*, comparée à celle d'autres primates**



D'après L. Berger *et al.*, *eLife*, 2015

**DOCUMENT 4**

**Pied d'*Homo naledi*, comparé à celui d'autres primates**



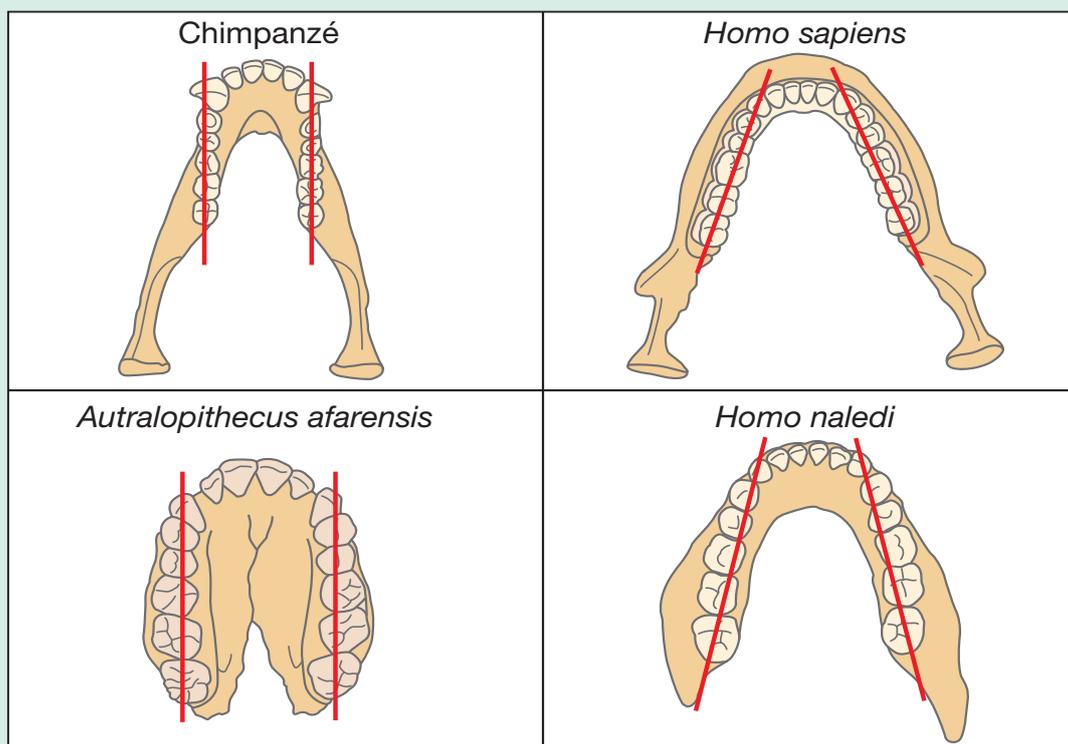
D'après L. Berger *et al.*, *eLife*, 2015 et le site [evolution-biologique.org](http://evolution-biologique.org)

Chez *Homo naledi*, les os représentés en blanc n'ont pas été retrouvés. Chez le gorille :

- le premier métatarsien s'écarte des autres, il s'agit d'une adaptation au grimper arboricole.

- les tarsiens représentent à peine  $1/3$  de la longueur du pied contre  $1/2$  chez *Homo sapiens*.

Chez *Homo sapiens*, le fait que les tarsiens représentent la moitié de la longueur du pied rend ce dernier rigide, ce qui confère une aptitude à la course.

**DOCUMENT 5****Comparaison de l'arcade dentaire de la mandibule inférieure d'*Homo naledi* avec celle de trois primates**

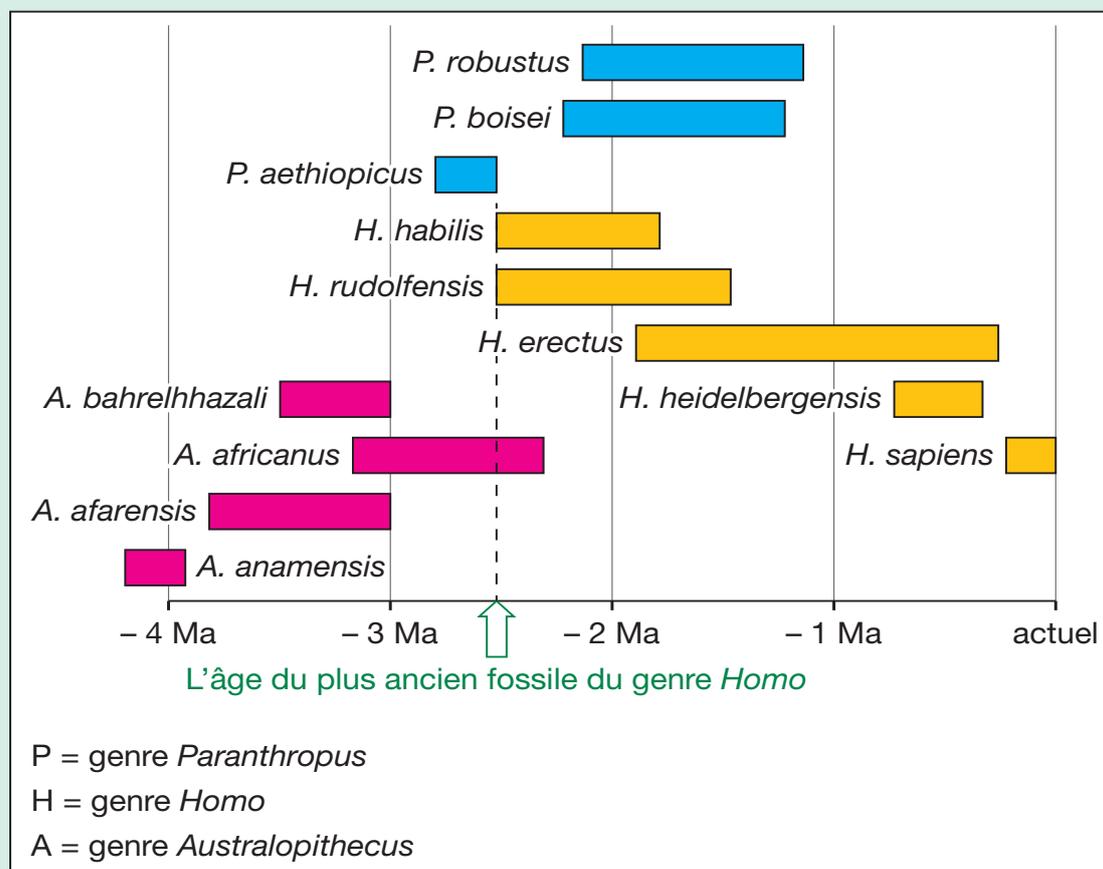
D'après le site [elifesciences.org](http://elifesciences.org)

Les lignes tracées sur les arcades dentaires représentent le positionnement des dents (de la canine à la dernière molaire) sur la mandibule inférieure. La comparaison de l'arcade dentaire se réalise en fonction de ce critère. Ainsi, les dents sont positionnées soit sur des droites parallèles, soit sur des droites divergentes (de degré variable).

**DOCUMENT 6****L'importance de la datation d'*Homo naledi***

Les fossiles d'*Homo naledi* n'ont pas encore pu être datés. Or, cette datation pourrait se révéler déterminante pour la classification. En effet, si tous les paléontologues s'accordent à dire que cette nouvelle espèce n'appartient pas au genre *Paranthropus*, ils hésitent toujours

entre le genre *Australopithecus* et le genre *Homo*. La frise ci-dessous indique les périodes d'existence des principales espèces de chacun de ces trois genres.



D'après *La Recherche*, hors-série, mars-avril 2016

Le tableau suivant a été réalisé par des scientifiques à partir de l'analyse de quelques caractères issus des ossements d'*Homo naledi*.

	Caractères d' <i>Homo naledi</i> se rapprochant du genre <i>Australopithecus</i>	Caractères d' <i>Homo naledi</i> se rapprochant du genre <i>Homo</i>
Tête	Bourrelet sus-orbitaire développé : ce caractère primitif apparaît chez tous les primates hormis l' <i>Homo sapiens</i>	
	Inclinaison de la face montrant un fort prognathisme	
Organisation de l'épaule	Articulation de l'épaule orientée vers le haut	
Organisation de la main	Première phalange des doigts incurvée	Os formant le poignet et la paume de forme évoluée adaptés à la manipulation d'outils
Doc. 1		
Doc. 2		
Doc. 3a		

	Caractères d' <i>Homo naledi</i> se rapprochant du genre <i>Australopithecus</i>	Caractères d' <i>Homo naledi</i> se rapprochant du genre <i>Homo</i>
Doc. 3b		
Doc. 4		
Doc. 5		

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

#### Analyser les documents

- Les chercheurs ont placé la nouvelle espèce d'homininé trouvée dans une grotte d'Afrique du Sud dans le genre *Homo*. Il s'agit de discuter cette place dans la classification, la question posée suggérant – à la suite d'Yves Coppens – qu'elle est discutable. Vous devez argumenter à partir des documents fournis.
- Pour cela, il faut avoir en tête les **principes de la classification** des êtres vivants et donc des hominins. Celle-ci doit rendre compte des **parentés**, établies à partir des **états dérivés** des caractères que possèdent les différents taxons. Autrement dit, *naledi* possède-t-il les états dérivés caractérisant le genre *Homo* ?
- C'est avec cette perspective qu'il faut analyser de **façon comparative** les données de chaque document. Quand elles sont fournies, les données sur le chimpanzé ou le gorille renseignent sur l'état ancestral du caractère envisagé. Il faut bien voir que, pour chaque taxon, le trait horizontal renseigne sur l'étendue de la variabilité du caractère et prendre en compte cette variabilité dans les comparaisons. Attention à ne pas paraphraser les documents. Lorsque c'est possible, essayez d'aboutir à une conclusion sur l'état du caractère chez *naledi*.

#### Des caractères en mosaïque

Les conclusions tirées de l'analyse des documents servent à compléter le tableau fourni. Les états des caractères des Australopitèques que possèdent *naledi* sont considérés comme ancestraux, ceux partagés avec les *Homo* sont considérés comme dérivés au sein des hominins. *Homo naledi* présente ainsi une **mosaïque** de caractères, pour certains ancestraux, pour d'autres dérivés. À partir de là, il convient de discuter sur la place d'*Homo naledi* dans la classification. Tout repose sur la définition des états dérivés qui définissent le genre *Homo*. Si un volume endocrânien supérieur à 600 mL est un critère pour être rangé parmi les *Homo*, alors *Homo naledi* n'est pas un véritable *Homo*.

**Intérêt de la datation**

Le document 6 est intitulé « importance de la datation d'*Homo naledi* ». En quoi est-elle importante ? Pas pour classer un fossile, car la classification repose **uniquement** sur des données morphologiques, anatomiques, moléculaires. En revanche, elle peut apporter des informations sur l'histoire évolutive du genre *Homo*. Par exemple, si *Homo naledi* est âgé de 2,5 millions d'années ou plus, il se trouve à l'émergence du genre *Homo* et, sans être pour autant l'ancêtre commun à tous les *Homo*, il fournit une image de ce que pouvaient être les premiers représentants du genre.

**■ Mobiliser ses connaissances**

Le genre *Homo* regroupe l'homme actuel et quelques fossiles qui se caractérisent notamment par une face réduite, un style de bipédie favorisant l'aptitude à la course à pied, une mandibule parabolique, etc.

**CORRIGÉ 13****Introduction**

- Récemment, des chercheurs ont trouvé de nombreux restes fossiles d'hominidés appartenant à une même espèce qu'ils ont nommée *Homo naledi*.
- Il n'y a pas de discussion sur le fait que c'est un homininé, c'est-à-dire qu'il est plus apparenté à l'homme que ne l'est le chimpanzé. Les discussions persistent concernant sa place parmi les Australopithèques ou le genre *Homo*.
- L'étude comparative des caractères anatomiques d'*Homo naledi* par rapport à ceux des Australopithèques et des autres *Homo*, permet de discuter la logique de ranger cette espèce fossile dans le genre *Homo*.

**Notez bien**

Le titre du sujet évoque une nouvelle espèce d'hominidés. En réalité, le terme « hominidé » désigne l'ensemble formé par l'ancêtre commun au gorille, au chimpanzé, à l'homme et par toutes les espèces qui dérivent de cet ancêtre commun. Les homininés constituent un sous-ensemble des hominidés.



## I. Caractères rattachant l'espèce fossile au genre *Homo*

### A. L'arcade dentaire (document 5)

- L'arcade dentaire du chimpanzé est en forme de U, alors que celle d'*Homo sapiens* est de forme parabolique. **L'arcade parabolique est un état dérivé.**
- *Homo naledi*, qui présente une mandibule parabolique, possède donc l'état dérivé d'*Homo sapiens*, contrairement aux Australopithèques.

**Ce caractère est en accord avec la place d'*Homo naledi* dans le genre *Homo*.**

### B. La première molaire (document 1)

Le diamètre de la première molaire d'*Homo naledi* (11,4 à 12,2 mm) est en dehors du domaine de variation de celui des Australopithèques (12,8 mm à plus de 14 mm). De même, il n'entre pas dans le domaine de variabilité de celui des *Homo* les plus anciens (*habilis* et *erectus*). Par contre, le diamètre de cette molaire entre dans le domaine de variabilité de celui des *Homo heidelbergensis*, espèce relativement récente (document 6).

**Une première molaire de diamètre relativement faible est un état dérivé en accord avec la place d'*Homo naledi* parmi le genre *Homo*.**

### C. Caractéristiques du pied et du tibia

- Le pied chez *Homo naledi*, comme chez *Homo sapiens*, possède le premier métatarsien qui ne s'écarte pas des autres métatarsiens contrairement à ce que l'on observe chez le gorille et les Australopithèques (document 4).
- Chez le fossile, la longueur des os tarsiens représente presque la moitié de la longueur du pied comme chez les *Homo sapiens*, alors que chez les Australopithèques ils ne représentent qu'environ le tiers de la longueur du pied (guère plus que chez le gorille).

*Homo naledi* présente donc les deux états dérivés du pied d'*Homo sapiens* : gros orteil non écarté et taille importante des tarsiens montrant une aptitude à la course. **Cela justifie pleinement sa place dans le genre *Homo*.**

- **La taille maximale du tibia** du fossile varie dans un domaine de variabilité qui se situe dans celui d'*Homo erectus* et d'*Homo sapiens*, mais également dans le domaine de variabilité des *Australopithecus afarensis* (document 3b). Sa taille correspond donc à celle du tibia de grands Australopithèques et à celle d'*Homo (erectus et sapiens)* de petite taille.

La comparaison avec le chimpanzé montre que l'allongement du tibia est un état dérivé au sein des Homininés, présent chez les *Homo* les plus récents, *Homo erectus* et *Homo sapiens*, à l'exception d'*Homo floresiensis*. *Homo naledi* présente cet état dérivé, ce qui justifie sa place dans le genre *Homo*. Toutefois, on peut nuancer cette conclusion dans la mesure où la grande

variabilité d'*Australopithecus afensis* fait que certains d'entre eux ont cet état. Mais la variabilité chez *Homo naledi* est très faible, ce qui renforce sa place dans le genre *Homo*.

## II. Caractères rattachant l'espèce fossile aux Australopithèques

### A. Le volume de l'encéphale (document 2)

Le volume crânien d'*Homo naledi* est du même ordre que celui de deux Australopithèques, *afensis* et *africanus* (ainsi que de celui du chimpanzé) et inférieur à celui d'*Homo habilis*. Il possède, au sein des hominidés, l'état **ancestral** de ce caractère. **Cela semble donc l'exclure du genre *Homo*.**

### B. Le fémur (document 3a)

- La tête du fémur chez *Homo naledi* est relativement réduite, proche de sa taille chez les Australopithèques.
- De même, le col du fémur est nettement plus long que celui d'*Homo sapiens*, proche de celui des Australopithèques.

**Les caractères du fémur rapprochent donc l'espèce fossile des Australopithèques.**

### Récapitulatif

	Caractères d' <i>Homo naledi</i> se rapprochant du genre <i>Australopithecus</i>	Caractères d' <i>Homo naledi</i> se rapprochant du genre <i>Homo</i>
Tête	Bourrelet sus-orbitaire développé : ce caractère primitif apparaît chez tous les primates hormis l' <i>Homo sapiens</i>	
	Inclinaison de la face montrant un fort prognathisme	
Organisation de l'épaule	Articulation de l'épaule orientée vers le haut	
Organisation de la main	Première phalange des doigts incurvée	Os formant le poignet et la paume de forme évoluée adaptés à la manipulation d'outils
Doc. 1		Faible diamètre de la molaire
Doc. 2	Volume endocrânien réduit	
Doc. 3a	Fémur : tête réduite, col long	
Doc. 3b	Longueur tibia = grands Australopithèques	Pouce non écarté. Longueur tibia semblable à celle de petits <i>Homo erectus</i> et <i>sapiens</i>
Doc. 4		Longueur tarsiens presque égale à la demi-longueur du pied
Doc. 5		Arcade dentaire parabolique

**Bilan**

- *Homo naledi*, qui présente une combinaison de caractères dérivés et de caractères ancestraux, est une espèce différente des autres espèces d'homininés connues. Il s'inscrit dans l'évolution **buissonnante** des homininés.
- Cette association de caractères traduit une évolution **en mosaïque**. C'est cette caractéristique qui rend difficile la détermination de la place d'*Homo naledi* dans la classification.
- Possédant plusieurs états dérivés communs avec le genre *Homo* que ne possèdent pas les Australopithèques, cet homininé fossile apparaît plus étroitement **apparenté** au genre *Homo* que ne le sont les Australopithèques.
- **Si ces états dérivés communs** (pied, arcade dentaire, première molaire) **suffisent pour définir le genre *Homo***, alors *Homo naledi* appartient au genre *Homo*.
- **Si un volume crânien supérieur à 600 cm<sup>3</sup>** est un **état dérivé indispensable pour définir le genre *Homo***, alors *Homo naledi* n'est pas un *Homo* mais un Australopithèque.
- Même si l'âge d'un fossile ne permet pas de le placer dans la classification, sa datation peut procurer des renseignements intéressants.

Ainsi, si *Homo naledi* vivait il y a 200 000 ans, alors il s'agit :

- soit d'une lignée d'Australopithèques ayant survécu alors que toutes les autres espèces d'Australopithèques ont disparu depuis longtemps, ce qui est peu probable ;
- soit d'une lignée d'*Homo* ayant conservé des états ancestraux de quelques caractères. Il s'agit alors d'une nouvelle espèce d'*Homo* ayant vécu en même temps que les premiers *Homo sapiens*. L'existence de l'homme de Florès rend plausible cette interprétation.
- Si *Homo naledi* vivait il y a 2 500 000 ans, il peut alors représenter une espèce qui, sans être l'ancêtre commun aux *Homo*, possède des caractères pouvant évoquer ceux d'un ancêtre commun possible.

• Il n'y a donc pas de réponse définitive à la place de cette nouvelle espèce dans la classification. De nouvelles découvertes peuvent remettre en cause son appartenance à tel ou tel genre.

**Remarque**

Une publication de fin avril 2017 – donc postérieure à la conception du sujet – indique un âge compris entre 236 000 et 335 000 ans pour *Homo naledi*.



## Le contournement des contraintes de la vie fixée des plantes

Les végétaux terrestres sont pour la plupart des êtres vivants fixés. La vie fixée impose des contraintes.

► Expliquez comment l'organisation d'une plante à fleurs ainsi que sa collaboration avec d'autres espèces permettent de répondre aux contraintes de la vie fixée.

*L'exposé devra comporter une introduction, un développement structuré, une conclusion et sera illustré par un schéma au choix du candidat.*

### LES CLÉS DU SUJET

#### ■ Comprendre le sujet

- C'est un sujet très vaste car les connaissances à mobiliser portent sur l'ensemble du thème de la vie fixée des plantes. Il ne faut donc pas se limiter à l'organisation de l'appareil végétatif en rapport avec la nutrition de la plante, mais envisager aussi les modalités de la reproduction sexuée qui permettent la rencontre des gamètes alors que la plante ne se déplace pas.
- Il faut en outre indiquer, tant en ce qui concerne la nutrition que la reproduction, comment les relations avec d'autres êtres vivants aident à surmonter les contraintes de la vie fixée.
- Enfin, le dernier point à aborder est la façon dont les plantes résistent aux agressions de l'environnement qu'elles ne peuvent éviter puisque fixées.
- La variété des connaissances à exposer oblige à ne pas être exhaustif sur chacun des points et à cibler les données pour lesquelles la relation avec les contraintes de la vie fixée est nette. Le sujet ayant trait aux plantes à fleurs en général, il suffit d'indiquer les caractéristiques communes à toutes les plantes. Dans votre conclusion, vous pouvez cependant évoquer les adaptations qui permettent à certaines espèces de vivre dans des milieux où les contraintes sont très fortes : sécheresse, températures très élevées ou très faibles, etc.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- La plante développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec l'atmosphère et avec le sol.
- L'organisation florale et le fonctionnement de la fleur permettent le rapprochement des gamètes entre plantes fixées. La pollinisation de nombreuses plantes et la dispersion des graines reposent souvent sur une collaboration animal pollinisateur-plante, produit d'une coévolution.
- La plante possède des structures et des mécanismes de défense contre les agressions du milieu.

**CORRIGÉ 14**

ENS. SPÉCIFIQUE

**Introduction**

Comme tous les êtres vivants, les végétaux doivent se nourrir, se reproduire et se défendre vis-à-vis d'agressions extérieures diverses (climatiques, biologiques...). Dans le cas d'une plante fixée, ces fonctions doivent être assurées alors qu'il lui est impossible de se déplacer pour rechercher la nourriture, trouver un partenaire pour se reproduire ou encore fuir une agression.

Nous allons envisager les caractéristiques de ce type de plantes qui, **malgré leurs contraintes**, leur permettent d'**assurer les fonctions nécessaires à leur survie**.

**I. Se nourrir tout en étant fixée**

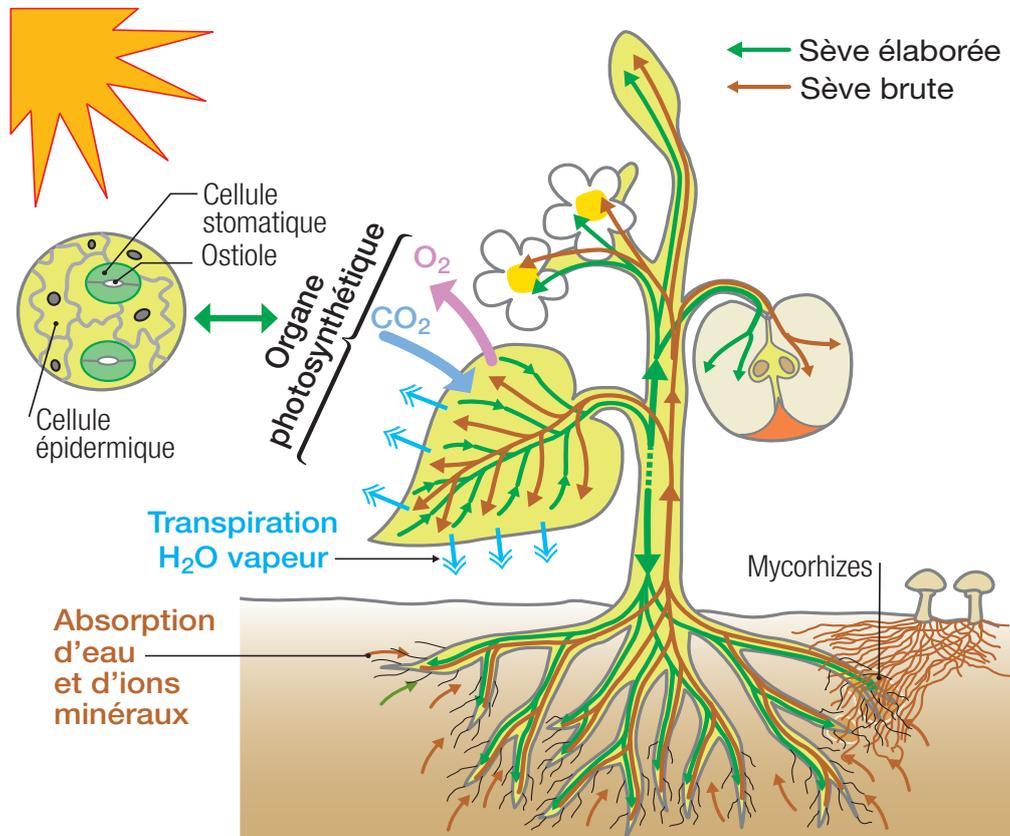
La plante chlorophyllienne **est autotrophe** grâce à sa capacité de **photosynthèse**. Pour assurer son bon déroulement, la plante doit trouver dans son environnement l'eau, les ions minéraux et le dioxyde de carbone nécessaires (**figure 1**). Les organes photosynthétiques doivent de plus être en mesure de capter l'énergie lumineuse indispensable à la photosynthèse.

**A. L'eau et les ions minéraux**

- Ces nutriments sont captés par l'appareil racinaire. Les ramifications de la racine, garnies à leur extrémité de poils absorbants extrêmement nombreux, constituent une **surface de contact considérable** entre les racines et le sol ; cela favorise l'absorption de l'eau et des ions minéraux par la plante.
- En outre, beaucoup de plantes présentent un système racinaire doté de **mycorhizes** qui résultent d'une association intime entre les filaments d'un



champignon et les racines de la plante (**figure 1**). Les filaments du champignon permettent le prélèvement d'eau et d'ions minéraux sur une surface très agrandie du sol avant de les transmettre aux racines de la plante.



**Figure 1.** Organisation fonctionnelle d'une plante chlorophyllienne

### B. Le dioxyde de carbone et l'énergie lumineuse

- Le dioxyde de carbone est puisé dans l'air environnant. La surface d'échanges gazeux entre l'atmosphère et l'appareil foliaire est considérable. Elle est encore énormément augmentée par l'existence de lacunes internes dont l'atmosphère est sans cesse renouvelée grâce à des orifices ouverts sur l'extérieur : les **stomates** (**figure 1**).

Cette **énorme surface** assure le prélèvement efficace du dioxyde de carbone, nutriment indispensable à la photosynthèse.

- L'énergie lumineuse, quant à elle, est captée par les **chloroplastes** des cellules foliaires. Chez beaucoup de plantes, les cellules les plus riches en chlorophylle constituent un tissu dense, situé sur la face supérieure la plus exposée à l'énergie lumineuse.

### C. Les relations entre racines et feuilles

Celles-ci sont indispensables car les fonctions différentes des appareils souterrain et aérien nécessitent l'existence de relations nutritives.

Elles sont assurées :

- par un tissu conducteur (**vaisseaux du xylème**), qui effectue le transport de l'eau et des ions minéraux (sève brute) du sol vers l'appareil aérien ;
- par un système conducteur (**tubes criblés éléments du phloème**), qui assure le transport des matières organiques synthétisées dans les feuilles (sève élaborée), vers l'ensemble des organes de la plante, en particulier vers les organes souterrains.

## II. Se reproduire tout en étant fixée

### A. La survie des gamètes

- Le milieu aérien est défavorable à la survie des gamètes ; en relation avec cela, les gamètes des végétaux aériens ne sont pas libérés dans le milieu extérieur.
- Les **gamètes femelles** sont situés dans l'**ovaire du pistil des fleurs**. Les **gamètes mâles** sont contenus dans les **grains de pollen** produits par les étamines. Libérés dans le milieu aérien, les grains de pollen protègent ainsi les gamètes mâles.

### B. La rencontre des gamètes et la fécondation (figure 2)

- La rencontre des gamètes est assurée par le transport des grains de pollen jusqu'au pistil : c'est la **pollinisation**. Elle se poursuit par la formation du **tube pollinique** issu du grain de pollen et qui conduit un gamète mâle jusqu'au gamète femelle : **la fécondation est donc interne**. L'œuf formé dans la plante mère est ainsi lui aussi protégé du milieu extérieur.
- Le développement de l'œuf dans l'ovaire donne finalement une **graine** qui sera libérée dans le milieu extérieur. L'une des propriétés de la graine est sa capacité à **mener une vie ralentie** et à **résister aux contraintes du milieu**.

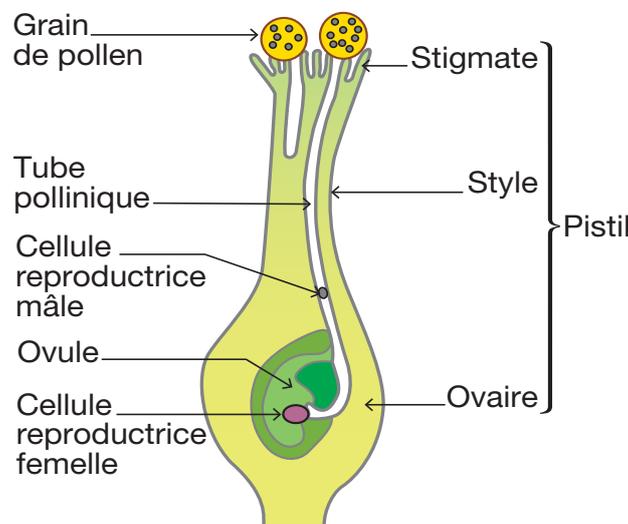


Figure 2. La pollinisation

### C. La reproduction et la collaboration avec d'autres êtres vivants

- Les animaux interviennent à deux moments distincts dans la reproduction des végétaux :

- Lors de la **pollinisation** ; chez de nombreuses plantes, la pollinisation est assurée par les insectes qui recherchent, dans la fleur, une source de nourriture : le nectar (liquide sucré sécrété par de petites glandes, les nectaires, situées à la base des pièces florales) et le pollen (notamment les abeilles).

Lorsqu'un insecte visite une fleur, le pollen se fixe aux soies de son corps. En pénétrant dans d'autres fleurs, l'insecte abandonne involontairement quelques grains de pollen sur les stigmates gluants.

- Lors de la **dispersion des graines**, laquelle permet à la plante de conquérir de nouveaux milieux.

- La semence peut être dispersée en s'attachant aux poils, plumes ou autres parties du corps d'un animal, mais aussi par la consommation, après passage dans le tube digestif de l'animal puis rejet par les excréments. Les fruits charnus font ainsi partie des stratégies facilitant la dissémination des graines.

- On observe parfois une relation entre les caractéristiques des plantes et celles des animaux qui assurent la dissémination en consommant leurs fruits. On parle alors de **coadaptation** : la morphologie des fruits est fréquemment adaptée aux caractéristiques morphologiques générales des animaux frugivores. Comme dans le cas de la pollinisation, on l'interprète comme une **coévolution**, c'est-à-dire que l'on suppose qu'au cours de l'histoire évolutive de la plante, les animaux ont exercé une pression sélective qui a favorisé les phénotypes attractifs des plantes pour les animaux. Inversement, les plantes ont ensuite exercé une pression sélective sur les animaux.

### III. Se défendre tout en étant fixée

#### A. Les facteurs physiques

Les plantes fixées doivent répondre aux pressions du milieu extérieur dont font partie les variations de températures. Elles ont ainsi développé diverses stratégies selon les contraintes.

- Résister aux basses températures

Les plantes entrent en **vie ralentie pendant la période froide**, durant laquelle les activités sont réduites au minimum et où le développement est interrompu.

Les organes assurant la permanence de la plante sont alors protégés afin de réduire l'impact des basses températures :

- seule la partie souterraine persiste (bulbes, tubercules, rhizomes...)



- un système de protection (écailles) est développé au niveau des bourgeons ;
- les graines entrent en vie ralentie, en particulier chez les plantes annuelles, protégeant ainsi la descendance.

- **Résister à la sécheresse**

Lorsque les températures sont élevées, la réponse sera en particulier de réduire les pertes d'eau par fermeture des stomates.

Des caractéristiques anatomiques spécifiques favorisent également la résistance à la sécheresse : présence de cryptes sur les feuilles pour la protection des stomates, morphologie à feuilles réduites limitant les surfaces d'échange, accumulation et stockage d'eau (plantes grasses), etc.

## B. Les facteurs biologiques

Il s'agira alors pour la plante de développer des systèmes de défense afin de **résister aux prédateurs et aux parasites**. Deux types de défense sont ainsi observées :

- des **défenses constitutives (passives)** de nature **mécanique** (cuticules épaisses rendant les feuilles coriaces, écorce épaisse et dure, épines, poils urticants, etc.) ou **chimique** (sécrétion passive de substances toxiques et mortelles pour les agresseurs) ;
- des **défenses induites (actives)**, qui se développent en réponse à l'agression. La plante réagit en diffusant des substances volatiles odorantes qui attirent des prédateurs de l'agresseur et augmentent les capacités de défense des plantes voisines saines. La plante peut également répondre directement à l'agression en sécrétant des substances chimiques toxiques pour l'agresseur (Psl, nicotine, etc.).

## Conclusion

La plante fixée possède des singularités qui concernent à la fois son appareil végétatif et son appareil reproducteur.

- L'**appareil végétatif** est caractérisé par de **vastes surfaces d'échanges** avec l'environnement (sol, atmosphère) où les nutriments nécessaires à la plante sont en faible concentration. En outre, cet appareil végétatif peut subir des **modifications pour résister aux agressions du milieu**.
- L'**appareil reproducteur** est marqué par la production et la libération d'un très **grand nombre de grains de pollen vecteurs et protecteurs de gamètes mâles** qui peuvent ainsi atteindre les organes femelles distants où se trouvent les gamètes femelles. La fécondation est ensuite interne, et le développement de l'œuf à l'intérieur de l'ovaire du pistil conduit à une graine.



La graine, qui contient un embryon de plante, peut ensuite être disséminée, tout en étant capable de mener une vie au ralenti lorsque les conditions sont défavorables.

- Tant en ce qui concerne la pollinisation que la dispersion des graines, la **collaboration avec les animaux** contribue à la réussite de la reproduction et la conquête de nouveaux milieux.

Ce sont des propriétés générales des plantes terrestres fixées mais elles peuvent parfois être accentuées chez certaines d'entre elles, leur permettant de **s'adapter pour vivre dans des milieux aux conditions physiques sévères** (déserts, altitudes élevées, etc.).



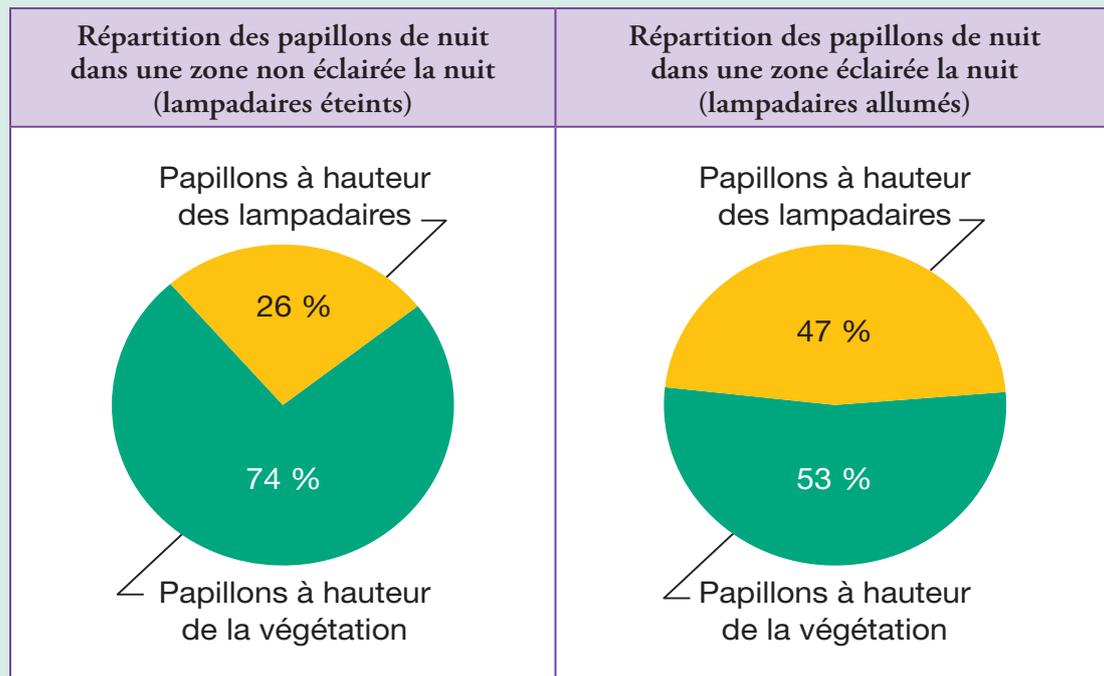
## Influence de la lumière sur la reproduction des plantes

► À partir de l'étude des documents, proposez une explication possible à l'impact de l'éclairage nocturne sur la reproduction des plantes à fleurs.

## DOCUMENT 1

### Répartition des papillons de nuit en fonction de l'éclairage artificiel

Les papillons de nuit sont des pollinisateurs nocturnes.

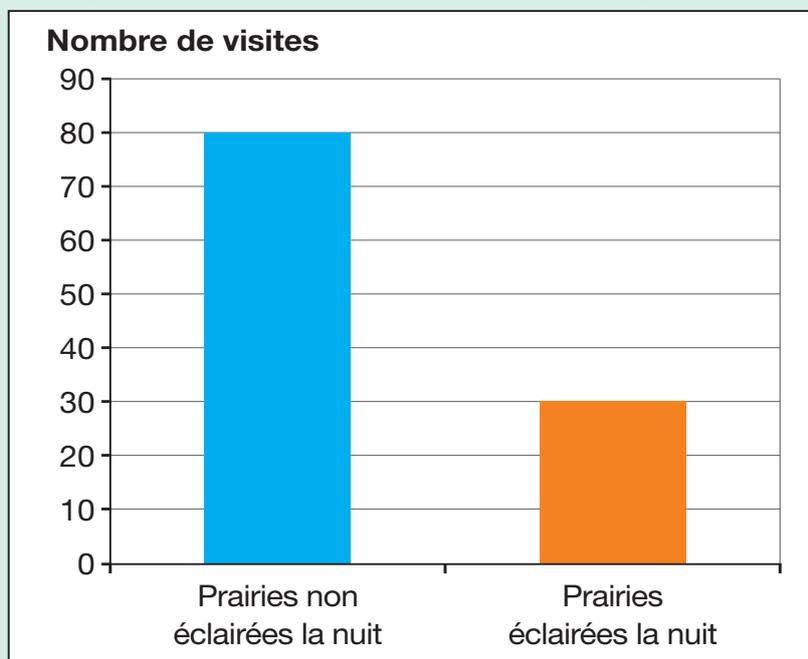


MacGregor *et al.*, *Global Change Biology*, 2017

## DOCUMENT 2

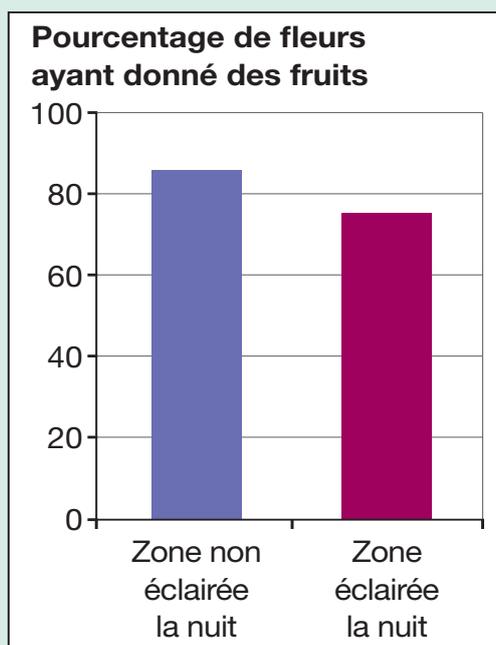
**Nombre de visites des fleurs de prairies par des insectes pollinisateurs nocturnes**

Les visites ont été dénombrées dans sept prairies laissées à l'obscurité la nuit et dans sept prairies éclairées la nuit par des projecteurs.



D'après Knop *et al.*, *Nature*, 2017

## DOCUMENT 3

**Pourcentage de fleurs de cirse maraîcher (*Cirsium oleraceum*) ayant produit des fruits en présence ou en absence d'éclairage nocturne**

D'après Knop *et al.*, *Nature*, 2017



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Très souvent, lorsqu'il y a plusieurs documents dans une question II-1, l'évaluation est sous forme d'un QCM et l'exploitation des documents est guidée par les propositions. Ici, ce n'est pas le cas et c'est la question posée qui doit vous guider dans votre analyse des documents afin de réaliser un **raisonnement rigoureux**.
- Il faut **appliquer la méthode comparative** en précisant quelle est la situation **témoin** : celle sans éclairage.
- La question posée invite à préciser en premier lieu l'**impact de l'éclairage nocturne** sur la **reproduction** des plantes. C'est le document 3 qui fournit l'information, à savoir la diminution de la reproduction des plantes sous l'effet de l'éclairage nocturne.
- Les documents 1 et 2 permettent d'expliquer cet impact à travers l'action de l'éclairage artificiel sur l'activité pollinisatrice des insectes nocturnes.
- Cette démarche n'est pas obligatoirement attendue, une réponse suivant l'ordre des documents est possible bien que moins judicieuse.

**■ Mobiliser ses connaissances**

La pollinisation de nombreuses plantes repose sur une collaboration animal pollinisateur-plante.

ENS. SPÉCIFIQUE

**CORRIGÉ 15****Introduction**

Parmi les facteurs pouvant avoir une influence sur la reproduction des plantes à fleurs, les chercheurs se sont intéressés aux effets de l'éclairage artificiel nocturne de plus en plus présent dans l'environnement.

**I. Impact de l'éclairage sur la fructification des plantes**

- Le document 3 indique que, chez le cirse maraîcher, 85 % des fleurs en zone non éclairée ont donné des fruits contre 75 % en zone éclairée.
- Si l'on admet que les autres conditions sont par ailleurs les mêmes dans les deux zones, l'éclairage a eu pour conséquence une **diminution de la production de fruits** de l'ordre de 10 %.



- Le fruit contenant les graines étant l'aboutissement de la reproduction, on peut alors estimer que l'éclairage nocturne a un **impact négatif** sur la reproduction de ce type de plantes.

## II. Impact de l'éclairage sur des insectes pollinisateurs nocturnes

### 1. Répartition des papillons de nuit en fonction de l'éclairage

- Dans le document 1, la situation dans la zone non éclairée la nuit constitue la situation témoin. Par rapport à cette situation témoin, l'éclairage nocturne a pour effet d'augmenter la densité de la population de papillons nocturnes autour du lampadaire (47 % contre 26 %) et de diminuer en conséquence celle des papillons présents à hauteur de la végétation (53 % contre 74 %).
- Il y a **moins de papillons au contact des plantes sous l'effet de l'éclairage nocturne**.

### 2. Éclairage nocturne et activité pollinisatrice des papillons

- Le document 2 montre que, par rapport aux prairies non éclairées (situation témoin), le nombre de visites dans les prairies éclairées la nuit est nettement plus faible (30 contre 80) ; cela représente une diminution de 62 %.
- L'éclairage nocturne a donc pour effet d'**impacter négativement** les rapports entre les insectes pollinisateurs et les plantes

## Conclusion

La pollinisation est l'une des conséquences de la visite des fleurs par les insectes pollinisateurs. Lorsque les pollinisateurs ont une activité nocturne, l'éclairage a pour effet de **diminuer la pollinisation**.

Cette dernière étant une étape indispensable à la reproduction des plantes à fleurs, cela peut expliquer l'**impact négatif de l'éclairage nocturne** sur la reproduction de ces plantes.

#### INFO

Les plantes sont bien entendu également pollinisées par des insectes diurnes.



## Gènes du développement des structures des fleurs

*Arabidopsis thaliana* ou « Arabette des dames » est une plante modèle pour étudier le développement floral. Elle possède de nombreux mutants floraux qui ont permis d'établir un modèle.

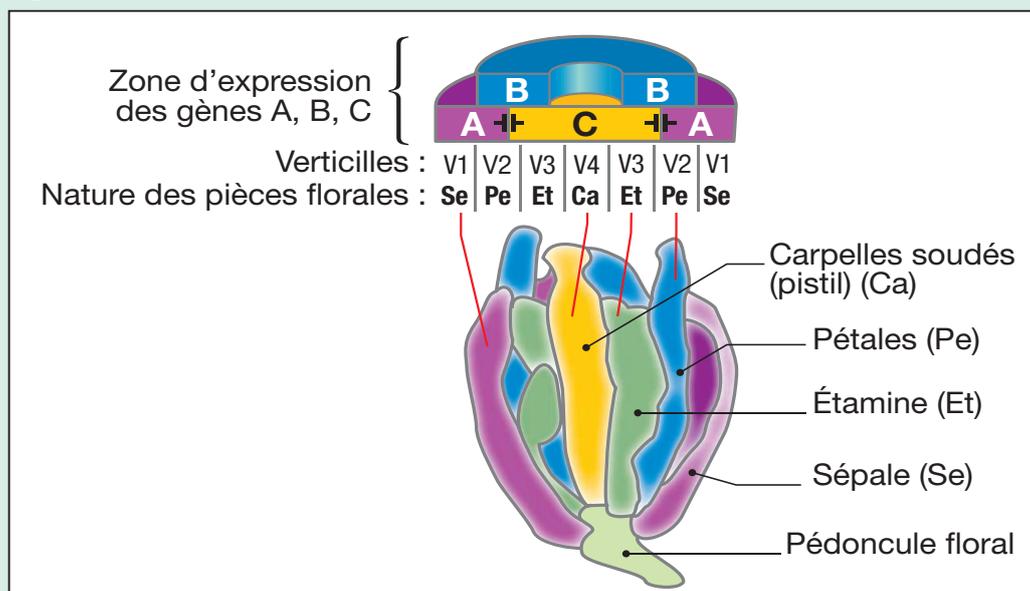
► À partir de l'étude des documents et de l'utilisation des connaissances, trouver des arguments permettant de valider le modèle proposé dans le document de référence et de supposer que les gènes étudiés appartiennent à une famille multigénique.

### DOCUMENT DE RÉFÉRENCE

#### Modèle de détermination de la structure d'une fleur

Les pièces florales de même nature sont insérées au même niveau (verticille) autour de l'axe de la fleur. De l'extérieur vers l'intérieur, on trouve le verticille V1 formé des sépales, le verticille V2 des pétales, le verticille V3 des étamines et le verticille V4 des carpelles.

Trois groupes de gènes (A, B et C) interviennent dans la mise en place des pièces florales.

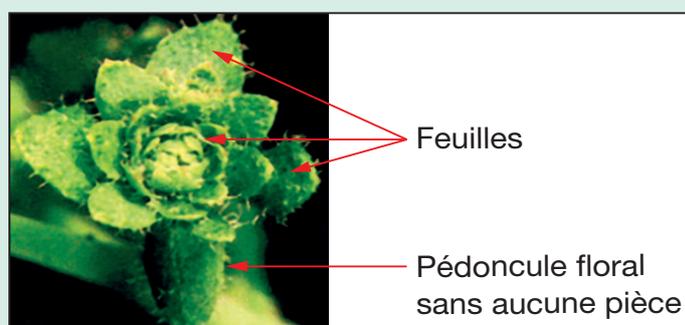


#### Description et fonctionnement du modèle

- Suivant les gènes qui s'expriment, les pièces florales formées sont différentes. Par exemple, l'expression uniquement d'un gène du groupe A sur le verticille permet la formation des sépales.
- Sur le verticille 2, l'expression simultanée de gènes appartenant aux groupes A et B permet la formation des pétales.
- ||— Lorsqu'un gène du groupe A s'exprime, le gène de groupe C ne peut pas s'exprimer, et inversement.

D'après [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

## DOCUMENT 1

***Arabidopsis thaliana* : fleur normale - fleur mutée**

**Photographie d'une fleur d'*Arabidopsis thaliana* dont les gènes des trois groupes A, B et C ont été mutés et sont non fonctionnels**

Van Anlijsbettens et Van Montagu,  
*Int. J. Dev. Biol.*, Vol. 49, 453-465, 2005



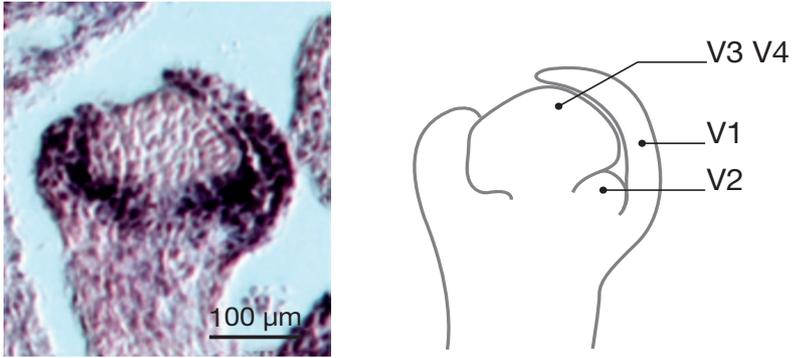
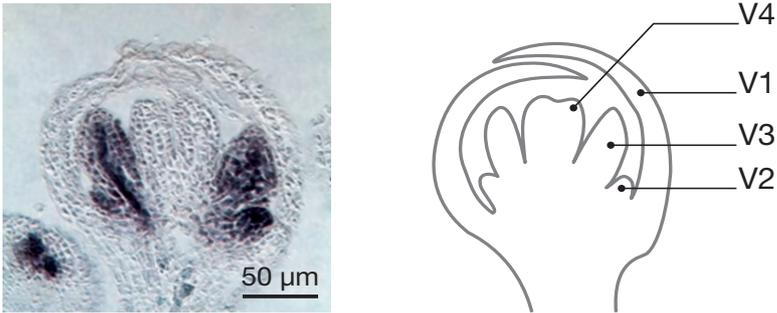
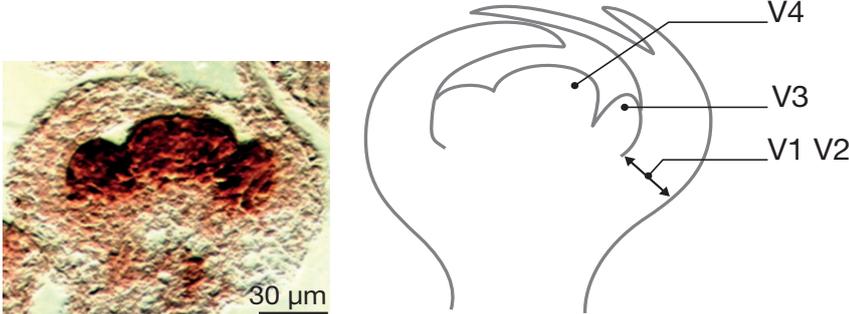
**Photographie d'une fleur d'*Arabidopsis thaliana* sauvage (structure florale normale)**



DOCUMENT 2

**Localisation de l'expression des gènes des groupes A, B et C lors de la mise en place de la fleur**

Pour déterminer les zones d'expression de gènes des groupes A, B et C, on utilise des sondes colorées capables de se fixer sur les ARNm des gènes étudiés au niveau de coupes des bourgeons floraux. Les zones, qui apparaissent en sombre, sont celles où le gène étudié s'exprime.

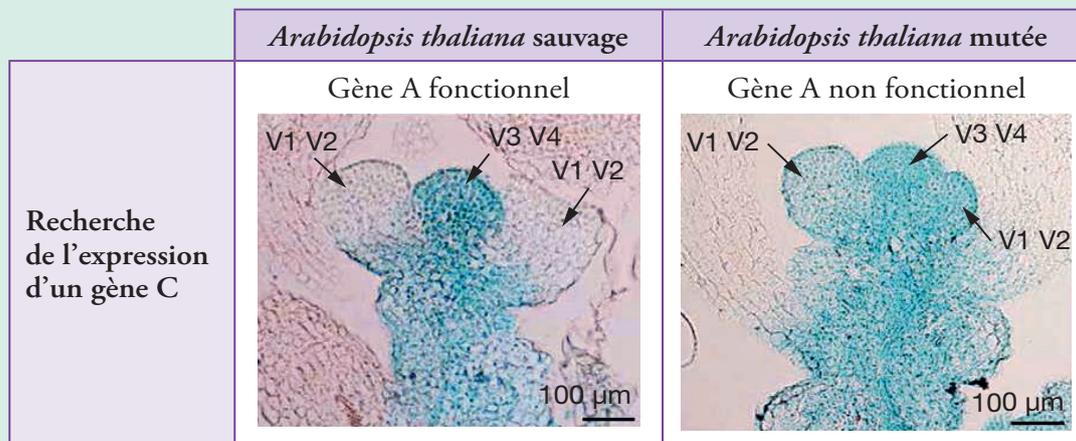
<p>Localisation des ARNm d'un gène A</p>	 <p>Stade 5</p> <p>Schéma du stade 5</p> <p>Yu et coll., <i>PNAS</i>, 2004, 101: 7827-7832</p>
<p>Localisation des ARNm d'un gène B</p>	 <p>Stade 7</p> <p>Schéma du stade 7</p> <p>Krogan et coll., <i>Development</i>, 2012, 139: 4180-4190</p>
<p>Localisation des ARNm d'un gène C</p>	 <p>Stade 6</p> <p>Schéma du stade 6</p> <p>Prunet et coll., <i>Plant cell</i>, 2008, 20: 907-919 © 2008 American Society of Plant Biologists</p>

ENS. SPÉCIFIQUE

**DOCUMENT 3**

**Relation entre l'expression des gènes des groupes A et C**

L'utilisation de sondes spécifiques radioactives permet de localiser les zones d'expression d'un gène C.



C. Liu et coll. *Development*, 2007, 134: 1901-1910

**DOCUMENT 4**

**Comparaison à l'aide du logiciel Anagène d'une portion des protéines codées par chacun des trois groupes de gènes**

Les protéines issues de l'expression de chacun de ces groupes de gènes sont comparées :

- protéine A : protéine issue de l'expression d'un gène A ;
- protéine B : protéine issue de l'expression d'un gène B ;
- protéine C : protéine issue de l'expression d'un gène C.

Comparaison avec alignement				25	30	35	40	45	50	55																										
A																																				
▶	Traitement	◀	▶	0																																
▶	Identités	◀	▶	0	*	*	*	*	*	*																										
▶	Protéine A	◀	▶	0	Lys	Arg	Ile	Glu	Asn	Lys	Ile	Asn	Arg	Gln	Val	Thr	Phe	Ser	Lys	Arg	Arg	Ala	Gly	Leu	Leu	Lys	Lys	Ala	His	Glu	Ile	Ser	Val	Leu	Gys	Asp
▶	Protéine B	◀	▶	0	-	-	-	-	Ala	Asn	-	-	Val	-	-	-	-	-	-	Asn	-	-	Val	-	-	-	-	Lys	-	-	Thr	-	-	-	-	
▶	Protéine C	◀	▶	0	-	-	-	-	Thr	Thr	-	-	-	-	-	-	-	-	Cys	-	-	-	Asn	-	-	-	-	-	Tyr	-	Leu	-	-	-	-	
▼	Sélection : 0/5 lignes																																			

D'après le logiciel *Anagène* et les séquences données sur [accs.ens-lyon.fr](http://accs.ens-lyon.fr)

**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- C'est un sujet où l'on demande d'exploiter des données expérimentales pour valider un modèle génétique de l'édification des pièces florales. Il n'est pas judicieux de commencer par une analyse exhaustive du document de référence, car cela reviendrait à le paraphraser. Il faut, pour chaque donnée expérimentale, indiquer l'information du document de référence qu'elle corrobore. Il ne faut pas oublier de préciser comment est détectée l'expression d'un gène.
- Pour établir que les gènes impliqués dans la construction des pièces florales appartiennent à une famille multigénique, il faut, à partir des séquences fournies, calculer leur pourcentage de similitude. Cela n'implique pas que les séquences de ces gènes soient identiques, mais seulement qu'elles ont un fort degré de similitude.

**■ Mobiliser ses connaissances**

L'organisation florale est contrôlée par des gènes du développement.

ENS. SPÉCIFIQUE

**CORRIGÉ 16****Introduction**

Dans un bourgeon floral de l'Arabette, s'édifient, de l'extérieur vers l'intérieur, quatre verticilles de pièces florales : sépales, puis pétales, étamines et carpelles (pistil). Ces différents types de pièces florales résultent de l'expression différentielle de gènes de développement, pour lesquels les chercheurs ont proposé un modèle de détermination de la structure de la fleur. Nous allons voir en quoi les données des documents valident ce modèle et la nature des relations entre les gènes impliqués.

**I. Implication des gènes A, B et C (document 1)**

- Lorsque les gènes A, B et C sont non fonctionnels, le bourgeon floral ne produit pas de pièces florales mais uniquement des feuilles. Ces trois gènes sont donc **indispensables** à la formation des pièces florales dans le bourgeon.
- Cela est **conforme à la phrase du document de référence** : « trois groupes de gènes (A, B et C) interviennent dans la mise en place des pièces florales ».



## II. Les zones d'expression des gènes A, B et C (document 2)

• L'expression d'un gène comporte deux phases : sa transcription en ARN messager (ARNm) et la traduction de cet ARNm en protéines. **La présence de l'ARNm d'un gène renseigne donc sur le lieu d'expression de ce dernier.**

• On constate que :

– l'ARNm du gène A est uniquement présent dans les verticilles V1 et V2. C'est en effet ce qu'indique la figure du document de référence ;

– l'ARNm du gène B est présent dans la zone qui correspond aux verticilles V2 et V3, ce qui est conforme au document de référence ;

– l'ARNm du gène C est présent dans une zone qui correspond aux verticilles V3 et V4, ce qui est conforme à la figure du document de référence.

**Chaque gène s'exprime donc dans les zones correspondant à deux verticilles**, comme le traduit le document de référence.

## III. Interaction entre les gènes A et C (document 3)

• Lorsque le gène A est non fonctionnel, on constate que le gène C s'exprime dans tous les verticilles et non plus seulement dans les verticilles V3 et V4. La non-fonctionnalité du gène A a pour conséquence d'étendre l'expression du gène C aux verticilles V1 et V2, territoires où s'exprime normalement le gène A.

• **Lorsque le gène A est fonctionnel, il empêche l'expression du gène C dans les verticilles V1 et V2.**

• Cela est conforme à la phrase du document de référence : « lorsqu'un gène du groupe A s'exprime, le gène du groupe C ne peut pas s'exprimer ».

### ATTENTION !

Aucun document présenté ici ne permet d'affirmer que l'inverse est aussi vrai.

## IV. Une famille multigénique (document 4)

• On compare les portions de séquences des protéines qui résultent de l'expression des gènes A, B et C et comprises entre l'acide aminé 25 et l'acide aminé 57 (soit une séquence de 32 acides aminés). Le tableau ci-dessous indique les différences en acides aminés entre les trois gènes.

	A	B	C
A	–	7	6
B	7	–	8
C	6	8	–

- Le pourcentage de différences entre les gènes A et B est d'environ 22 % ( $7/32 \times 100$ ), soit un pourcentage de similitude de 78 %. De même, la similitude entre A et C est de 81 % et celle entre B et C de 75 %.
- Ces pourcentages très importants de similitude laissent à penser que **ces trois gènes appartiennent à une famille multigénique qui résulte de duplications d'un gène ancestral.**

## Conclusion

L'organisation florale actuelle est donc déterminée par les territoires d'expression de trois gènes (ou groupes de gènes) A, B et C, comme l'indique le document de référence, et ces trois gènes sont le résultat d'une histoire évolutive à partir d'un gène ancestral.



## La croûte continentale, subduction et volcanisme explosif

Ce sujet comprend deux sous-parties : un questionnaire à choix multiple (QCM) et une question de synthèse. Le candidat traitera les deux sous-parties.

### ■ QCM (3 points)

► Indiquer la réponse exacte pour chaque série de propositions.

1. La croûte continentale :

- a) est en équilibre isostatique sur la lithosphère continentale.
- b) est en équilibre isostatique sur la lithosphère océanique.
- c) correspond à la partie supérieure de la lithosphère continentale.
- d) correspond à la partie inférieure de la lithosphère continentale.

2. La croûte continentale :

- a) de composition essentiellement granitique est globalement plus dense que la croûte océanique.
- b) de composition essentiellement basaltique est globalement moins dense que la croûte océanique.
- c) est globalement plus épaisse et moins dense que la croûte océanique.
- d) est globalement moins épaisse et plus dense que la croûte océanique.

3. La croûte continentale :

- a) subit un recyclage impliquant, entre autres, érosion et altération.
- b) subit un recyclage n'impliquant ni érosion, ni altération.
- c) ne subit aucun recyclage.

### ■ Question de synthèse (5 points)

Le volcanisme explosif des zones de subduction est particulièrement dangereux. Par exemple, l'éruption du mont Saint Helens (États-Unis, État de Washington) en 1980 a provoqué la mort de 57 personnes et a détruit 380 km<sup>2</sup> de forêt.

► À partir de l'utilisation des connaissances, expliquer comment les zones de subduction peuvent être le siège d'un volcanisme explosif.

Une synthèse comportant une introduction, un développement organisé en paragraphes et une conclusion est attendue. Elle sera illustrée d'un ou de plusieurs schémas.

Les mécanismes à l'origine de l'hydratation de la croûte océanique au cours de son histoire ne sont pas attendus.

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Le sujet, classique, est assez proche d'une restitution de connaissances habituelle, où le libellé suggère le plan à suivre. Pour donner un aspect cohérent et organisé à l'exposé, il faut essayer de mettre en évidence, dans les titres des paragraphes, l'enchaînement des idées.
- En introduction, bien indiquer ce que signifie **subduction** afin de préciser les deux principaux problèmes à résoudre : d'une part, comment la plongée d'une lithosphère océanique froide contribue-t-elle à la genèse d'un magma ; d'autre part, quelles sont les caractéristiques de ce magma, et de son évolution, faisant qu'il engendre un volcanisme explosif arrivé en surface.
- Bien mettre en évidence le **couplage** entre le **métamorphisme** de la lithosphère océanique en subduction, notamment de sa croûte, et la **fusion partielle** de la péridotite mantellique de la plaque chevauchante.
- Consacrer suffisamment de temps à faire le **schéma** demandé en conclusion, en traduisant bien que c'est la lithosphère océanique, et pas seulement la croûte, qui subducte. On peut avec profit le réaliser **avant de commencer à rédiger** l'exposé car il doit illustrer tous les points à développer et aider ainsi à la rédaction de la réponse.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- La déshydratation des matériaux de la croûte océanique subduite libère de l'eau qu'elle a emmagasinée au cours de son histoire, ce qui provoque la fusion partielle des péridotites du manteau sus-jacent.
- Si une fraction des magmas arrive en surface (volcanisme), la plus grande partie cristallise en profondeur et donne des roches à structure grenue de type granitoïde. Un magma, d'origine mantellique, aboutit ainsi à la création de nouveau matériau continental.

## CORRIGÉ 17

## ■ QCM

1. **c) Exact** : la lithosphère continentale est constituée de la croûte située au-dessus du manteau lithosphérique.

**a) et b) Faux**, car c'est la lithosphère qui est en équilibre isostatique sur l'asthénosphère.

**d) Faux** : la croûte correspond à la partie supérieure, et non inférieure, de la lithosphère continentale.

2. **c) Exact** : la croûte continentale a une épaisseur moyenne de 30 km, contre une épaisseur moyenne de 6 km pour la croûte océanique. La densité de la croûte continentale est de 2,7 contre 2,9 pour la croûte océanique.

**a) Faux** : la croûte continentale a bien une composition essentiellement granitique, mais elle est moins dense que la croûte océanique.

**b) Faux** : la croûte continentale, bien que moins dense que la croûte océanique, a une composition granitique et non basaltique.

**d) Faux** : la croûte continentale est plus épaisse et moins dense que la croûte océanique.

3. **a) Exact** : érosion et altération constituent la première phase du recyclage. Par conséquent, **b) et c)** sont faux.

## ■ Question de synthèse

## Introduction

Au cours d'une subduction, une lithosphère océanique plonge sous une autre lithosphère. Un volcanisme de type explosif est l'une des caractéristiques les plus constantes des zones de subduction. Il traduit la genèse de magma qui accompagne la subduction, magma à l'origine de volcans andésitiques situés sur la plaque chevauchante. Les laves émises sont très peu fluides et très riches en gaz.

Dans un premier temps, nous envisagerons le mécanisme par lequel la plongée d'une plaque océanique froide dans le manteau plus chaud entraîne la genèse de magma. Nous verrons ensuite comment le refroidissement de ce magma conduit à un volcanisme explosif.



## I. Les transformations de la lithosphère océanique au cours de sa subduction

### A. Les caractéristiques de la lithosphère qui subducte (schéma bilan, point 1)

Après sa formation à l'axe d'une dorsale, la lithosphère océanique fracturée et peu épaisse est le siège d'une circulation d'eau de mer ; en conséquence, elle subit un **métamorphisme hydrothermal**. Il en résulte que la croûte océanique entrant en subduction est riche en **minéraux hydroxylés** : hornblende, actinote, chlorite. De même, la péridotite du manteau lithosphérique de la plaque plongeante est, au moins dans sa partie supérieure, métamorphisée en serpentinite, roche verdâtre riche en un minéral **hydroxylé**, la serpentinite.

### B. Le métamorphisme de la lithosphère en subduction (schéma bilan, point 2)

Au cours de sa subduction, la croûte océanique se réchauffe lentement et, surtout, elle est soumise à des pressions de plus en plus importantes. Dans ces conditions, les **minéraux qui la constituent sont instables**. En conséquence, à des profondeurs supérieures à 30-40 km, la croûte est le siège de réactions **à l'état solide** qui conduisent à la formation, avec perte d'eau de nouvelles associations minéralogiques, marquées en particulier par l'apparition du glaucophane, à partir des minéraux initiaux. On parle de **métamorphisme de haute pression et de basse température**.

À plus grande profondeur (cf. schéma bilan, point 3), les metabasites et métagabbros de la lithosphère plongeante **sont totalement non hydroxylés**.

Ainsi, **ce n'est pas à partir des matériaux de la lithosphère océanique subduite que prend naissance le magma**. Sa subduction a une seule conséquence : **la libération d'eau qui peut gagner la péridotite de la plaque chevauchante**.

#### INFO

La roche de la croûte à minéraux non hydroxylés est une éclogite, dont les minéraux principaux sont le grenat et la jadéite. Cette connaissance n'est ni indispensable ni exigible.

## II. La genèse du magma

### A. Le matériel à l'origine du magma (schéma bilan, point 3)

Un magma provient toujours de la fusion d'une roche préexistante.

Malgré les variations de pente du panneau lithosphérique qui subducte, suivant les zones de subduction, les volcans se trouvent à l'aplomb d'une zone où **le toit de la lithosphère en subduction est à 100 km ou plus**.

**La péridotite de la plaque chevauchante** située à ces profondeurs subit une fusion partielle à l'origine du magma.



**B. L'eau et la genèse du magma (schéma bilan, point 3)**

Les données thermiques indiquent que la température de la péridotite de la plaque chevauchante, vers 100 km de profondeur, est de l'ordre de 1 000 °C. Cette température est insuffisante pour entraîner la fusion partielle d'une **péridotite anhydre** du manteau soumise aux pressions régnant vers 100 km.

Les données expérimentales indiquent que l'eau **abaisse la température de début de fusion de la péridotite**. Ainsi, une **péridotite hydratée**, à 1 000 °C, sous une pression correspondant à celle qui règne à 100 km, subit une fusion partielle : certains minéraux fondent et sont à l'origine d'un magma **hydraté**.

La péridotite de la plaque chevauchante subit une fusion partielle car elle est hydratée grâce à l'eau libérée par les transformations minéralogiques subies par la lithosphère océanique en subduction. Il y a donc **couplage du métamorphisme de subduction et du magmatisme**.

**La fusion partielle conduit à un magma de type basaltique fortement hydraté.**

**III. Du magma au volcanisme explosif**

Ce magma est injecté dans les couches sus-jacentes, manteau lithosphérique puis croûte continentale (dans le cas d'une subduction sous une lithosphère continentale), où il est stocké dans des chambres magmatiques. Dans ces chambres, ce magma subit la cristallisation fractionnée, phénomène inverse de la fusion partielle : il se refroidit et les minéraux qui cristallisent sont ceux dont la température de fusion est la plus élevée ; ils s'accumulent au fond du réservoir magmatique. La partie restée liquide a une composition différente de celle du magma d'origine et évolue vers une composition de magma andésitique.

Le magma résultant, arrivant près de la surface, est **très visqueux** et très riche en gaz, notamment en vapeur d'eau. La viscosité du magma empêche les gaz de s'échapper. La pression de ces gaz augmente tellement qu'elle engendre une explosion qui éjecte dans l'atmosphère un volume de cendres considérable sous la forme d'un panache ou de nuées ardentes.

**INFO**

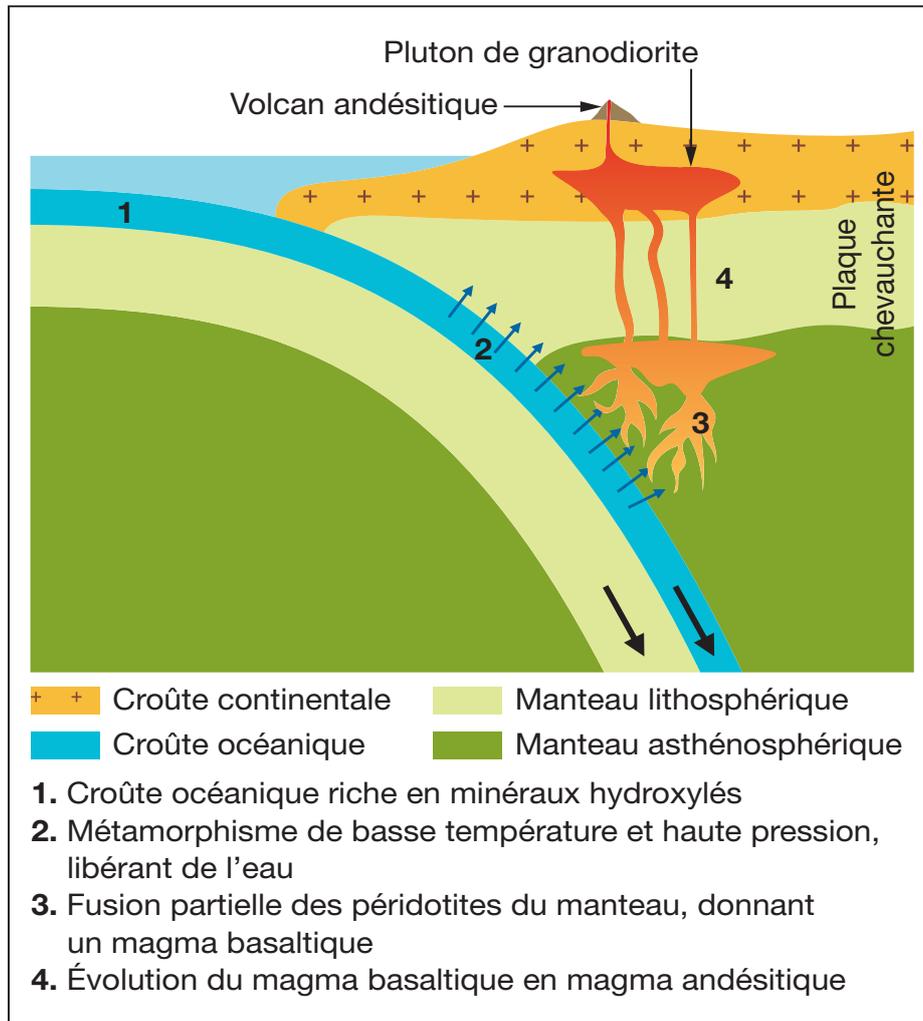
La majeure partie du magma se refroidit en profondeur, donnant des roches dont la minéralogie est proche de celle du granite (granodiorite).



## Conclusion

C'est le magma basaltique résultant de l'hydratation et de la fusion partielle de la péridotite de la plaque chevauchante qui est à l'origine du magma andésitique qui donnera des roches qui s'ajouteront à la croûte continentale.

C'est donc l'hydratation de la croûte océanique au niveau de la dorsale et la subduction qui, par des mécanismes illustrés par le schéma bilan conduit à la naissance en surface de volcans andésitiques de type explosif.



*Schéma bilan.* Subduction et genèse de la croûte continentale

## Formation et destruction des reliefs des chaînes de montagnes

► Expliquez la formation des reliefs associés aux chaînes de montagnes de collision ainsi que les mécanismes contribuant à leur disparition.

*La réponse prendra la forme d'un texte structuré et illustré.*

### LES CLÉS DU SUJET

#### ■ Comprendre le sujet

- Le libellé du sujet sans ambiguïté incite à faire un plan en deux grandes parties : la formation des reliefs, puis les mécanismes de leur disparition.
- Attention, il n'est pas demandé d'exposer les étapes de formation d'une chaîne de montagnes de collision. Il faut certes situer la formation des reliefs dans l'histoire d'une chaîne de collision, mais la description doit se limiter aux mécanismes créateurs de reliefs pendant la phase de collision.
- Concernant les mécanismes de destruction des reliefs, il faut surtout développer ceux liés à l'action de l'eau sous forme liquide et solide (action des glaciers). Les phénomènes tectoniques pouvant contribuer à la disparition des reliefs peuvent également être évoqués.
- Aucune référence à une chaîne de montagnes précise n'est imposée, seuls les mécanismes communs aux chaînes de collision importent.
- Enfin, le sujet demande d'illustrer votre propos sans donner de précision : les schémas relatifs aux plis, failles et nappes de charriage sont cependant les plus simples et les plus judicieux.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- Au relief positif qu'est la chaîne de montagnes, répond en profondeur une importante racine crustale.
- L'épaisseur de la croûte résulte d'un épaissement lié à un raccourcissement et à un empilement.
- Les chaînes de montagnes anciennes ont des reliefs moins élevés que les plus récentes.
- Altération et érosion contribuent à l'effacement des reliefs. Les phénomènes tectoniques participent aussi à la disparition des reliefs.

**CORRIGÉ 18**

ENS. SPÉCIFIQUE

**Introduction**

Les chaînes de montagnes récentes, comme les Alpes et l'Himalaya, sont caractérisées par des reliefs positifs très accusés : plus de 8 000 m pour l'Himalaya, contrastant avec l'altitude moyenne du relief continental inférieur à 1 000 m. En revanche, les chaînes de montagnes anciennes comme le Massif armoricain ont une altitude beaucoup plus basse. Autrefois, elles ont pourtant été des montagnes aux reliefs accusés : des mécanismes ont donc contribué à la disparition de leurs reliefs au cours de leur histoire.

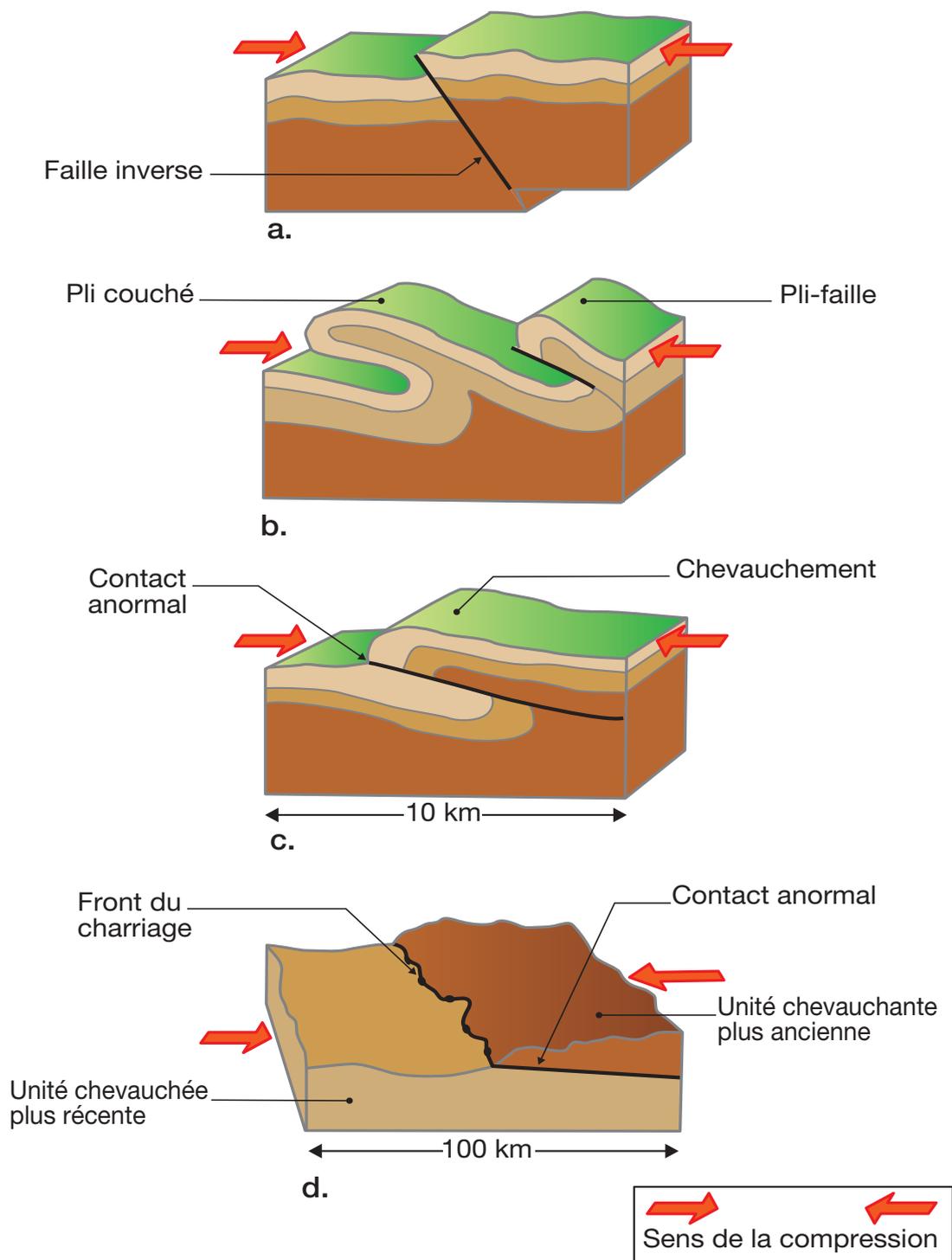
Nous allons explorer les mécanismes à l'origine de la formation des reliefs des chaînes de montagnes avant d'aborder ceux provoquant leur disparition.

**I. La formation des reliefs des chaînes de montagnes****A. L'épaississement de la croûte des chaînes de collision**

- Dans les chaînes de montagnes récentes, les reliefs sont associés à un **épaississement de la croûte**. Celle-ci atteint une épaisseur de 50 km dans les Alpes, et jusqu'à 70 km à certains endroits de l'Himalaya, alors que l'épaisseur moyenne de la croûte continentale est de l'ordre de 30 km. Cet épaissement affecte la **couverture sédimentaire** de la croûte et le socle. Au niveau du socle, cela se traduit par une **racine crustale**.
- Les mécanismes qui assurent l'épaississement de la croûte continentale sont aussi ceux en jeu dans la création des reliefs. Ces mécanismes sont dits tectoniques car ils se traduisent par des déformations des roches de la croûte.



**B. Les déformations de la couverture sédimentaire (figure 1)**



**Figure 1. Déformations tectoniques associées à un raccourcissement : faille inverse (a), pli couché et pli-faille (b), chevauchement (c), nappes de charriage (d)**

- La présence de plis affectant les roches de la couverture sédimentaire est très fréquente dans les reliefs des chaînes de montagnes. Or les sédiments à l'origine de ces roches se sont initialement déposés en couches quasi horizontales. Lors de la formation de la chaîne, les sédiments ont subi une déformation sous l'effet de **forces compressives**, provoquant un **raccourcissement** et un **épaississement** de la couverture sédimentaire.

Cela est particulièrement net pour les plis couchés, où les deux flancs sont quasiment parallèles et superposés.

- D'autres déformations dues à des contraintes compressives sont **les failles inverses et les plis failles**. Une faille est une fracture selon un plan, avec déplacement relatif des deux blocs situés de part et d'autre.

Lors d'une faille inverse, le compartiment situé au-dessus de la faille surmonte le compartiment situé en dessous, ce qui traduit une déformation en compression et s'accompagne d'un raccourcissement et d'un épaississement par rapport à la situation initiale.

- Les **chevauchements**, et surtout les **nappes de charriage** sont des déformations de plus grande ampleur. Dans ces deux cas, un déplacement horizontal d'un compartiment rocheux amène des terrains à chevaucher d'autres terrains. Lors d'un chevauchement, le déplacement est d'ampleur modérée (quelques kilomètres) alors que, dans une nappe de charriage, il peut dépasser une centaine de kilomètres.

Ces déformations conduisent souvent à une disposition anormale des formations sédimentaires, où des couches plus anciennes se trouvent au-dessus de couches plus récentes.

Chevauchement et nappe de charriage entraînent un **raccourcissement important** et un **épaississement de la couverture sédimentaire** participant à la formation de relief.

### C. Les déformations du socle de la croûte des chaînes de montagnes

Par l'intermédiaire de données sismiques, on obtient un accès indirect à la structure profonde de la croûte d'une chaîne de montagnes. On constate un **empilement d'écaillés** de croûte de nappes crustales superposées les unes aux autres et se chevauchant.

Ces déformations de grande ampleur participent au rétrécissement et à l'épaississement de la croûte, et donc à la formation de la racine crustale associée aux reliefs.

#### INFO

L'épaississement crustal dû à la superposition de nappes crée dans la croûte des conditions de température et de pression entraînant la formation de roches métamorphiques comme les gneiss. Une fusion partielle de la croûte est même parfois créée, aboutissant à la genèse d'un magma qui, en se solidifiant, donne des migmatites et des granites.



### D. Le contexte tectonique créateur de l'épaississement crustal

- La chaîne de montagnes de collision résulte d'une longue histoire. La collision a été précédée d'un long épisode où de la **lithosphère océanique** séparant deux lithosphères continentales a subducté sous l'une des lithosphères continentales (**convergence**). Lorsque toute la lithosphère océanique a disparu par **subduction**, les deux lithosphères continentales sont entrées en collision. La convergence des deux lithosphères continentales a causé des déformations dans la lithosphère continentale subduite, ce qui a entraîné la formation de la chaîne. C'est ainsi que l'Himalaya résulte des déformations de la lithosphère de l'Inde suite à sa collision avec la lithosphère asiatique.
- Une fois la lithosphère océanique complètement résorbée, la subduction de la lithosphère continentale succède à celle de la lithosphère océanique. La majeure partie de la croûte continentale se désolidarise du manteau lithosphérique qui poursuit sa subduction. Du fait du blocage de sa subduction, la croûte se fracture et donne naissance à une première écaille de croûte sous laquelle la croûte continentale continue à s'enfoncer. Le phénomène se renouvelle tant que dure la convergence, de sorte que la croûte continentale se débite en plusieurs écaillés superposées les unes aux autres, Ces écaillés participent à la formation des reliefs. Les sédiments océaniques de la lithosphère océanique qui a subducté n'entrent pas pour leur majorité en subduction. Ils sont intensément déformés lors de la collision.

## II. Les mécanismes contribuant à la disparition des reliefs

### A. L'eau, agent principal de la destruction des reliefs

Cette action de l'eau débute dès la formation de la chaîne.

- **Action mécanique.** Les roches affleurant en altitude dans les montagnes sont fissurées et soumises à des températures variables, souvent basses. L'eau qui circule dans les fissures passe souvent de l'état liquide à l'état solide et inversement. Ce passage s'accompagnant d'une augmentation de volume, la glace fait éclater la roche, entraînant la formation d'éboulis constitués de fragments de roches. En avançant, les glaciers, masses de glace en mouvement, rabotent le fond et les parois de la vallée glaciaire, entraînant également la fragmentation de la roche encaissante.
- **Action chimique : l'altération.** L'eau attaque les minéraux des roches selon deux processus principaux :
  - La dissolution, particulièrement active lorsque l'eau est riche en  $\text{CO}_2$  dissous, concerne surtout les roches calcaires et aboutit à la disparition du calcaire solide sous forme d'ions solubles, les ions  $\text{HCO}_3^-$ .

– L'hydrolyse affecte surtout les roches magmatiques comme le granite, et les roches métamorphiques comme les gneiss, et plus précisément certains de leurs minéraux constitutifs : feldspaths micas. Certains ions participant à la composition de ces minéraux entrent en solution ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ). À partir des autres constituants de ces minéraux altérés se forment d'autres minéraux comme les argiles. Le quartz résiste, lui, à l'altération chimique. La roche ayant subi l'altération devient friable et sensible à l'action mécanique de l'eau.

- **Érosion et sédimentation.** Les fragments solides et les ions en solution produits par les actions mécanique et chimique sont entraînés par les eaux de ruissellement qui, par gravité, gagnent les torrents puis les fleuves. Ils sont finalement déposés dans des bassins continentaux et surtout des bassins océaniques. Le volume des dépôts sédimentaires de ces bassins peut être considérable et représente un **transfert de matière** des reliefs vers les bassins. Cela contribue à l'**effacement des reliefs**.

### **B. Phénomènes tectoniques et disparition des reliefs**

- La disparition des reliefs ne se limite pas à pénélplaner la chaîne de montagnes. En effet, l'épaisseur de la croûte des chaînes de montagnes anciennes est de l'ordre de 30 km, ce qui correspond à l'épaisseur moyenne de la croûte continentale : la racine crustale a disparu. Cela suppose la disparition, outre des reliefs positifs, de 20 à 30 km de croûte. Cela est dû à un réajustement isostatique marqué par une remontée de la lithosphère suite à l'érosion des parties superficielles de la chaîne. Ce mouvement vertical, lié au fait que la lithosphère tend à être en équilibre sur l'asthénosphère, fait que la racine crustale est soumise à l'érosion jusqu'à retrouver une épaisseur normale.

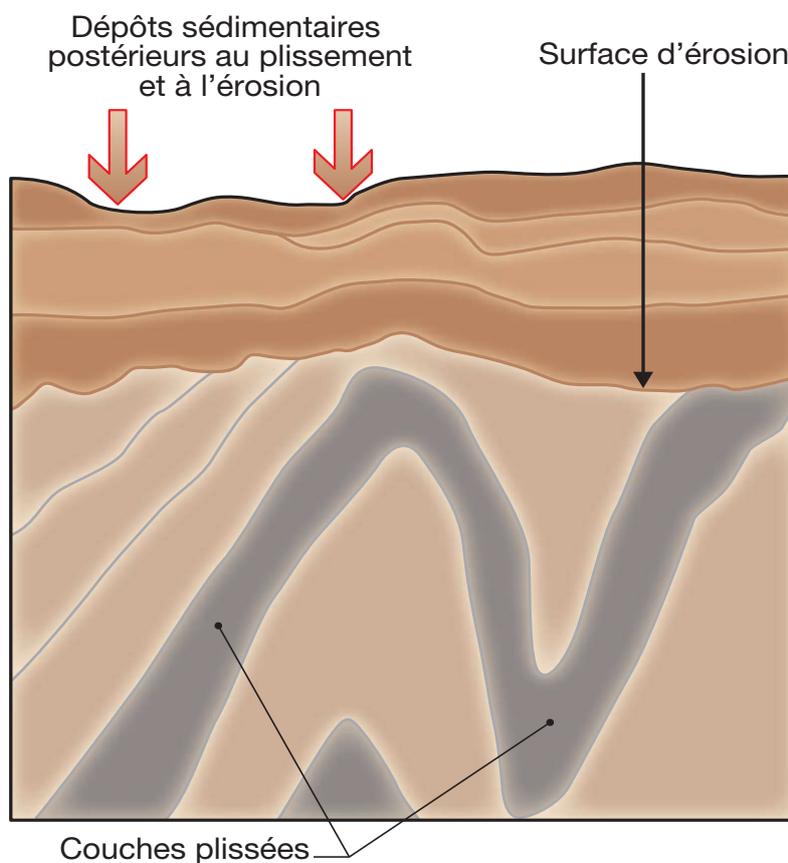
- Il semble cependant que l'érosion même associée à la remontée isostatique de la croûte soit insuffisante pour rendre compte de la disparition des reliefs et que d'autres phénomènes tectoniques d'étirement et d'effondrement de la croûte y contribuent.

### **Conclusion**

- La **formation des reliefs** d'une chaîne de montagnes s'intègre dans la dynamique globale de la planète, c'est-à-dire dans la **tectonique des plaques**. La convergence de deux lithosphères continentales entraîne des déformations de la croûte de la plaque subduite qui se traduisent par un raccourcissement et un épaississement de la croûte générateurs de reliefs. Ainsi, des mouvements horizontaux des plaques engendrent des reliefs verticaux.



- La **destruction des reliefs**, qui débute dès la formation de la chaîne, est due en grande partie à des **phénomènes géologiques externes** où l'action de l'eau est prépondérante.
- Ainsi, les chaînes de montagnes sont des **systèmes dynamiques** qui évoluent pendant des dizaines de millions d'années. La figure 2 traduit cette évolution : le pli est caractéristique de la formation des reliefs. La surface où des couches sédimentaires horizontales reposent en discordance sur les roches plissées évoque la destruction de la chaîne qui a été pénéplanée et recouverte ensuite par une mer.



*Figure 2* Évolution des reliefs des chaînes de montagnes

## Le domaine continental, sa dynamique et la géothermie

► Cochez la bonne réponse pour chaque série de propositions.

1. La lithosphère continentale se distingue de la lithosphère océanique par :

- a) une croûte plus épaisse, plus dense.
- b) une croûte plus épaisse, moins dense.
- c) une croûte moins épaisse, plus dense.
- d) une croûte moins épaisse, moins dense.

2. L'isostasie traduit :

- a) un état d'équilibre de la croûte sur le manteau supérieur de la lithosphère.
- b) un état d'équilibre de la lithosphère sur l'asthénosphère.
- c) un état de déséquilibre de la croûte sur le manteau supérieur de la lithosphère.
- d) un état de déséquilibre de la lithosphère continentale sur la croûte océanique.

3. L'altitude des continents est en moyenne :

- a) moins élevée que celle des océans, principalement à cause d'une croûte plus dense.
- b) moins élevée que celle des océans, principalement à cause d'une croûte moins dense.
- c) plus élevée que celle des océans, principalement à cause d'une croûte plus dense.
- d) plus élevée que celle des océans, principalement à cause d'une croûte moins dense.

4. L'âge de la croûte continentale :

- a) est globalement identique à celui de la croûte océanique.
- b) ne dépasse jamais 200 millions d'années.
- c) peut atteindre, voire dépasser, les 4 milliards d'années.
- d) ne peut jamais être établi.

5. Dans une chaîne de montagnes, on peut observer un épaissement de la croûte :
- a) uniquement en surface.
  - b) uniquement en profondeur.
  - c) en surface et en profondeur, donnant des reliefs et une racine crustale.
  - d) en surface et en profondeur, donnant des reliefs et une remontée mantellique.
6. Dans une chaîne de collision, plis, failles et nappes sont associés :
- a) à un étirement de la croûte.
  - b) à un raccourcissement de la croûte.
  - c) à une diminution du relief.
  - d) à un amincissement de la croûte.
7. Les ophiolites sont constituées :
- a) de roches issues d'une ancienne lithosphère continentale.
  - b) de lambeaux de lithosphère océanique.
  - c) de granite et de roches métamorphiques.
  - d) de roches sédimentaires exclusivement.
8. Par rapport à une chaîne de montagnes récente, une chaîne ancienne présente :
- a) une proportion de roches formées en profondeur plus importante à l'affleurement.
  - b) une proportion de roches formées en profondeur moins importante à l'affleurement.
  - c) un Moho plus profond.
  - d) un Moho globalement aussi profond.
9. Dans les zones de subduction :
- a) la lithosphère océanique chevauche toujours la lithosphère continentale.
  - b) la lithosphère océanique est moins dense qu'au niveau de la zone d'accrétion.
  - c) la lithosphère océanique est plus dense que dans la zone d'accrétion.
  - d) la lithosphère océanique est plus jeune que dans la zone d'accrétion.
10. Dans les zones de subduction, on observe un magmatisme se traduisant par :
- a) la formation de roches volcaniques de type granitoïde.
  - b) la formation de roches volcaniques sur la plaque plongeante.
  - c) la formation de roches plutoniques de type granitoïde.
  - d) la formation de roches plutoniques de type basalte.

11. Le magmatisme des zones de subduction a pour origine la fusion de péridotite :

- a) partielle, par déshydratation de la plaque plongeante.
- b) totale, par déshydratation de la plaque plongeante.
- c) partielle, par hydratation de la plaque plongeante.
- d) totale, par hydratation de la plaque plongeante.

12. Andésite et granite sont toutes deux :

- a) des roches produites par un magmatisme de dorsale.
- b) des roches plutoniques.
- c) des roches produites au niveau des zones de subduction.
- d) des roches ayant la même structure.

13. Dans une chaîne de montagnes, les reliefs tendent à :

- a) augmenter sous l'effet de l'altération et de l'érosion.
- b) augmenter sous l'effet de la seule érosion.
- c) disparaître sous les seuls effets de l'altération et de l'érosion.
- d) disparaître sous l'effet de l'altération, de l'érosion et de phénomènes tectoniques.

14. On observe un flux géothermique :

- a) fort au niveau des dorsales, associé à une production de lithosphère continentale.
- b) faible au niveau des dorsales, associé à une production de lithosphère océanique.
- c) fort au niveau des fosses océaniques, associé au plongement de la lithosphère.
- d) faible au niveau des fosses océaniques, associé au plongement de la lithosphère.

15. Les transferts de chaleur par convection au niveau du globe :

- a) sont plus efficaces que les transferts de chaleur par conduction.
- b) ne s'accompagnent d'aucun déplacement de matière.
- c) sont le seul mécanisme de transfert thermique de la Terre.
- d) sont peu importants dans le manteau.

16. Le flux géothermique global :

- a) a une valeur homogène à la surface de la Terre.
- b) est dû au transfert de chaleur de la profondeur vers la surface de l'énergie libérée par la désintégration de substances radioactives.
- c) est dû au transfert de chaleur de la surface vers la profondeur de l'énergie libérée par la désintégration de substances radioactives.
- d) est lié à l'énergie solaire reçue par la surface terrestre.



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- C'est une question de type 1 originale dans la mesure où elle consiste uniquement en un QCM de 16 séries de propositions qui couvrent l'ensemble des thèmes de géologie du programme. Il n'y a pas de support complémentaire, de sorte que vous devez apprécier la validité des propositions en les confrontant à vos connaissances. Cette question de type 1 est donc un excellent outil de révision.
- La compréhension des termes utilisés dans les propositions est souvent cruciale (zone d'accrétion, roche plutonique, structure d'une roche, Moho, etc.). Il faut donc veiller à l'acquisition et à la signification des termes de vocabulaire relatifs aux sciences de la Terre.
- Plusieurs séries de propositions sont construites sur le même modèle. Les quatre propositions font intervenir deux paramètres avec deux caractéristiques opposées pour chacun d'entre eux (plus épaisse/moins épaisse et moins dense/plus dense, par exemple.)

Il est ainsi judicieux de considérer d'abord un paramètre afin d'éliminer deux propositions. Il ne reste plus qu'à utiliser le deuxième paramètre pour sélectionner la proposition exacte parmi les deux qui restent.

**■ Mobiliser ses connaissances**

C'est le type de sujet pour lequel il ne faut pas avoir fait d'impasse, car il mobilise toutes les connaissances sur la caractérisation du domaine continental, la convergence lithosphérique et la formation des chaînes de montagnes, le magmatisme en zone de subduction, la disparition des reliefs, la géothermie et les propriétés thermiques de la Terre.

**CORRIGÉ** 19

**1. b) Exact.** La croûte continentale a une épaisseur d'environ 30 km et une densité de l'ordre de 2,7 alors que la croûte océanique a une épaisseur de 6 à 7 km et une densité de 2,9.

L'exactitude de la proposition **b)** exclut les propositions **a)**, **c)** et **d)**.

**2. b) Exact.** Tout déséquilibre se traduit par des mouvements verticaux rétablissant cet équilibre. L'isostasie traduit l'état d'équilibre de la lithosphère rigide sur l'asthénosphère plus plastique.



**a) Faux.** Croûte et manteau supérieur sont rigides, alors que l'isostasie implique qu'une partie rigide repose sur quelque chose de plus plastique.

**c) Faux** en ce qui concerne les deux critères signalés, « déséquilibre » et « croûte sur manteau ».

**d) Faux.** La lithosphère ne peut reposer sur la croûte océanique.

**3. d) Exact.** L'altitude des continents est évidemment supérieure à celle des océans, ce qui exclut les propositions **a)** et **b)** ; d'autre part, la densité de la croûte continentale (2,7) est moins élevée que celle de la croûte océanique (2,9), ce qui exclut la proposition **c)**.

**4. c) Exact.**

**a) Faux.** La croûte continentale est globalement plus âgée que la croûte océanique.

**b) Faux.** Les roches les plus âgées de la croûte continentale sont datées de 4 milliards d'années environ. L'âge des roches de la croûte océanique ne dépasse jamais 200 millions d'années.

**d) Faux.** La datation des roches continentales se fait à l'aide des isotopes radioactifs.

**5. c) Exact,** au moins pour les chaînes récentes.

**a) et b) Faux,** à cause de l'adverbe « uniquement ».

**d) Faux.** La remontée du manteau n'a aucun rapport direct.

**6. b) Exact.** Plis, failles et nappes de charriage sont caractéristiques d'une tectonique en compression, ce qui implique un raccourcissement de la croûte ; en conséquence, la proposition **a)** est **fausse**.

**c) Faux.** Plis, failles et nappes entraînent un épaissement de la croûte, donc une augmentation du relief.

**d) Faux.** C'est l'inverse.

**7. b) Exact.**

**a) Faux.** Les ophiolites sont constituées d'un ensemble de roches (basaltes en coussins, gabbros et péridotites) caractéristiques de la lithosphère océanique.

**c) Faux.** Granites et roches métamorphiques sont caractéristiques de la croûte continentale.

**d) Faux.** Basaltes et gabbros sont des roches magmatiques, et non des roches sédimentaires.



**8. a) Exact.** C'est le cas des granites et des roches métamorphiques qui, formés en profondeur, affleurent sur de grandes surfaces dans les chaînes de montagnes anciennes. Donc la proposition **b)** est fautive.

**c)** et **d) Faux.** Le Moho est la limite entre la croûte et le manteau. La croûte d'une chaîne ancienne est moins épaisse que celle d'une chaîne récente, donc le Moho est moins profond au niveau d'une chaîne ancienne.

**9. c) Exact.** De la zone d'accrétion à celle de subduction, la lithosphère devient plus dense par suite de l'épaississement du manteau lithosphérique, plus dense que la croûte. Cela exclut la proposition **b)**.

**a) Faux.** La lithosphère océanique, plus dense que la lithosphère continentale, ne peut chevaucher celle-ci.

**d) Faux.** La lithosphère océanique se forme au niveau de la zone d'accrétion.

**10. c) Exact.** Les roches granitoïdes ont une structure grenue et sont donc des roches plutoniques.

**a) Faux.** Des granitoïdes ne sont pas des roches volcaniques, mais plutoniques.

**b) Faux.** Les roches volcaniques se forment sur la plaque chevauchante, et non plongeante.

**d) Faux.** Andésites et basaltes ne sont pas des roches plutoniques, mais volcaniques.

**11. a) Exact.** Le métamorphisme subit par la croûte de la plaque plongeante libère de l'eau qui favorise la fusion partielle de la péridotite de la plaque chevauchante. Cela exclut les propositions **c)** et **d)**.

**b) Faux.** La fusion est toujours partielle, et non totale.

**12. c) Exact.** Le magmatisme des zones de subduction engendre des roches plutoniques de type granite au sein de la croûte et des roches volcaniques andésitiques en surface. Cela exclut la réponse **a)**.

**b) Faux.** Les andésites sont des roches volcaniques, et non plutoniques.

**d) Faux.** Les andésites, roches volcaniques, ont une structure microlithique, alors que les granites, roches plutoniques, ont une structure grenue.

**13. d) Exact.** Altération et érosion, sous l'action continue de l'eau, enlèvent des matériaux et donc diminuent les reliefs ; en conséquence, les propositions **a)** et **b)** sont **fausses**. Des facteurs tectoniques (failles en extension, par exemple), concourent également à la diminution des reliefs.

**c) Faux** à cause de l'adjectif « seuls » ; des phénomènes tectoniques interviennent aussi.

**14. d) Exact.** C'est de la lithosphère océanique froide qui plonge. Cela exclut la proposition **c)**.

**a) Faux.** Au niveau des dorsales, c'est de la lithosphère océanique qui est produite et non de la lithosphère continentale.

**b) Faux.** Le flux géothermique est élevé au niveau des dorsales car lié à l'activité magmatique importante de la dorsale.

**15. a) Exact.**

**b) Faux.** C'est l'inverse ; en effet, le transfert de chaleur par convection est réalisé par un déplacement de matière.

**c) Faux.** Dans la lithosphère le transfert de chaleur se fait par conduction.

**d) Faux.** Par son volume et sa richesse en éléments radioactifs, le manteau est la principale zone du globe productrice de chaleur.

**16. b) Exact** et excluant **c)**, qui est une proposition inverse.

**a) Faux.** Le flux est plus élevé au niveau des dorsales, des points chauds, et au niveau de l'arc volcanique des zones de subduction, zones à forte activité magmatique.

**d) Faux.** Le flux géothermique global est lié à la chaleur d'origine interne et non à l'énergie solaire. Ce flux géothermique global est uniquement lié au transfert de la chaleur de l'intérieur du globe à la surface.



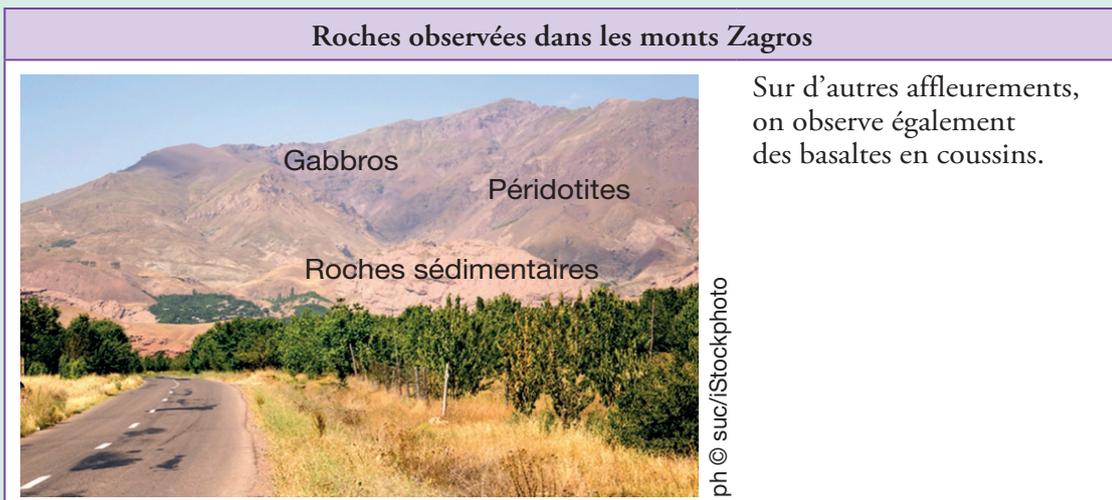
## La formation des monts Zagros

Les monts Zagros sont une chaîne de montagnes de l'ouest de l'Iran.

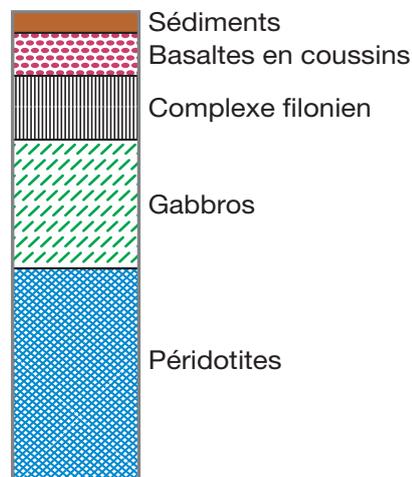
► En utilisant les informations des documents, construisez le scénario de la formation des monts Zagros.

DOCUMENT 1

### Roches observées dans les monts Zagros

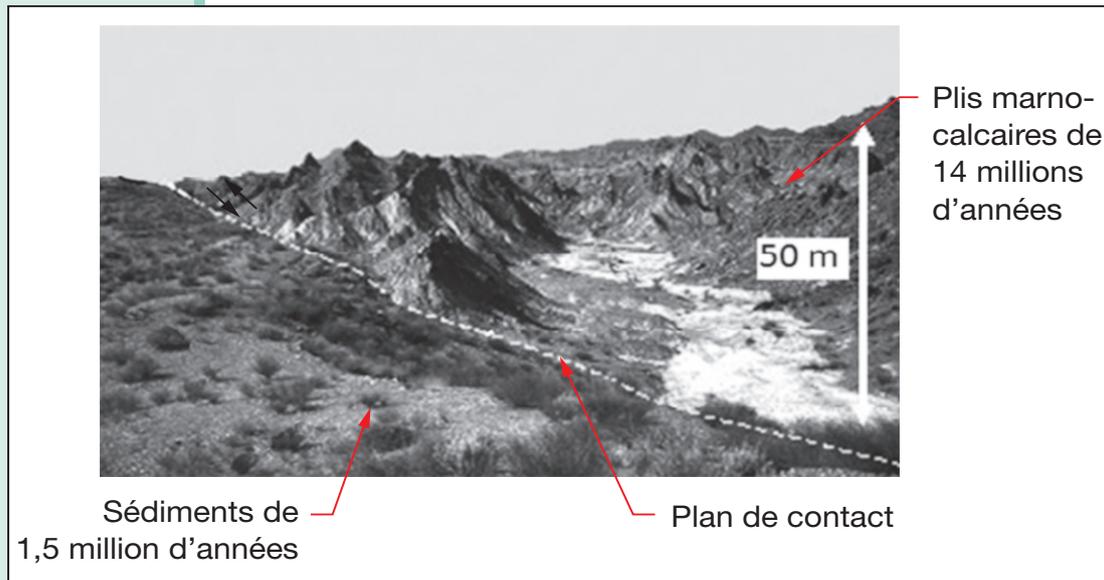


### Éléments de la lithosphère océanique



## DOCUMENT 2

## Géomorphologie visible dans les monts Zagros



D'après Jean-Jacques Dufaure, geomorphologie.revues.org

ENS. SPÉCIFIQUE

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Vous devez connaître les grandes étapes de l'histoire d'une chaîne de collision, illustrée ici par les monts Zagros, mais il ne s'agit pas de réciter vos connaissances. Celles-ci doivent seulement servir de guide pour exploiter les deux documents fournis.
- Vos connaissances sur la structure de la lithosphère océanique doivent vous aider à interpréter les données de terrain du **document 1**, et donc à préciser les deux premières étapes de l'histoire des monts Zagros.
- Les datations fournies dans le **document 2** permettent de déterminer si la superposition des couches sédimentaires est normale (les couches sédimentaires les plus récentes recouvrant des couches plus anciennes) ou anormale. L'exploitation de ce document 2 est également utile pour préciser le dernier épisode de la formation des monts Zagros.

### ■ Mobiliser ses connaissances

Les chaînes de montagnes présentent souvent les traces d'un domaine océanique disparu (ophiolites). Cette disparition par subduction entraîne l'affrontement de deux lithosphères continentales (collision). Des indices tectoniques (plis, failles, chevauchements) témoignent de l'épisode de collision.

**CORRIGÉ 20**

### Un épisode océanique

Les basaltes et les gabbros sont des roches caractéristiques de la croûte océanique ; les péridotites sont caractéristiques du manteau lithosphérique.

L'association de ces trois roches constitue une ophiolite.

Aux monts Zagros, affleure donc un lambeau de lithosphère océanique charrié sur des couches sédimentaires. Cela témoigne de l'épisode océanique dans la formation des monts Zagros.

### Un épisode de subduction

Cet océan a aujourd'hui disparu. Cela implique le fonctionnement d'une zone de subduction, où la lithosphère océanique a disparu dans le manteau. Les ophiolites des monts Zagros sont des lambeaux de lithosphère qui ont échappé à la subduction.

### Un épisode de collision

Le document 2 montre des formations marno-calcaires déformées, plissées, datées de 14 millions d'années, reposant sur des sédiments plus jeunes datés de 1,5 million d'années. Cette disposition constitue un chevauchement des formations marno-calcaires sur les sédiments plus récents le long d'un plan de contact anormal.

Le chevauchement et les plis affectant les marno-calcaires ont pour conséquence un raccourcissement et un épaissement de la couverture sédimentaire : cela est caractéristique d'une tectonique en compression ayant comme origine la collision de deux lithosphères continentales.

### Conclusion

On reconnaît trois épisodes dans l'histoire des monts Zagros :

- un premier épisode océanique séparant deux lithosphères continentales ;
- lequel a été suivi d'un épisode de subduction ayant entraîné la disparition progressive de la lithosphère océanique ;
- enfin, un épisode de collision.

Asie • Juin 2016

PRATIQUE DU RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE

Exercice 2 • 5 points

## Les Pénitents des Mées

À proximité du village des Mées, dans les Alpes-de-Haute-Provence, existe un site géologique très particulier constitué de colonnes rocheuses nommées « les Pénitents » en raison de leurs silhouettes faisant penser, selon la légende, à une procession de moines pétrifiés.



Ph © Franck Charton/hemis.fr

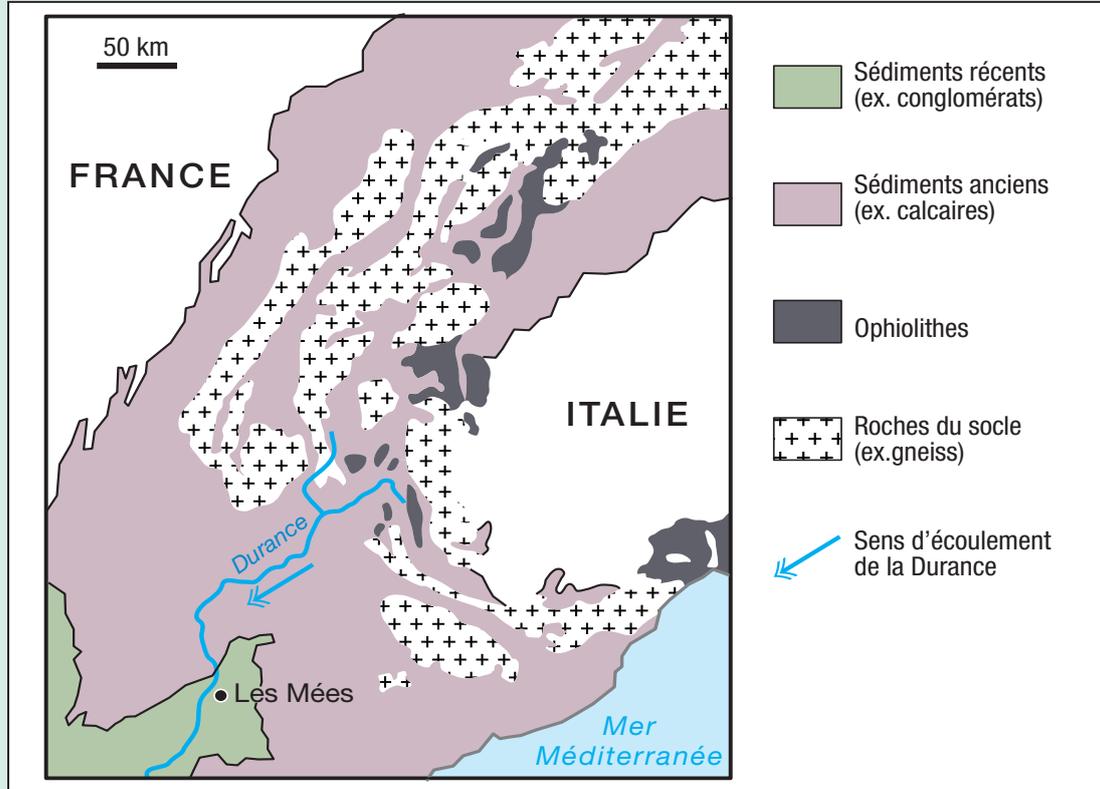
ENS. SPÉCIFIQUE

► À partir de l'exploitation des documents proposés et de vos connaissances, montrez comment les roches de ce site témoignent des processus géologiques responsables de la formation puis de la disparition d'une chaîne de montagnes.

## DOCUMENT 1

### Situation géographique des Mées et carte géologique simplifiée des Alpes

Les Alpes sont une chaîne de montagnes issue de la collision de deux lithosphères continentales.



## DOCUMENT 2

### L'affleurement des Mées

Les Pénitents des Mées forment un alignement de colonnes rocheuses d'environ 2,5 km et de plusieurs dizaines de mètres de haut.

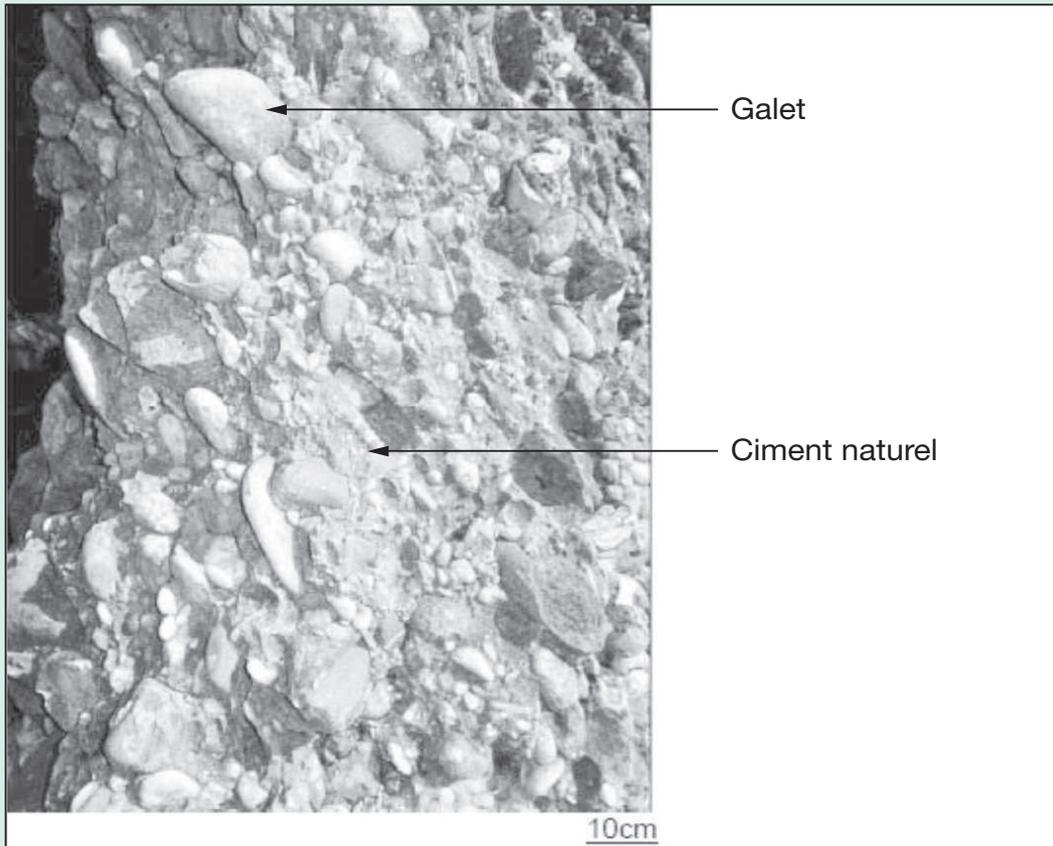
Un sondage a montré que cette formation appartient à un très vaste ensemble sédimentaire de plus de 800 m d'épaisseur.

#### a. Le conglomérat des Mées

Les Pénitents sont constitués d'un conglomérat, une roche détritique (issue de la dégradation d'autres roches) composée de galets liés entre eux par un ciment naturel.

La forme arrondie de ces galets suggère une usure lente liée à un transport par l'eau d'un fleuve ou d'une rivière.

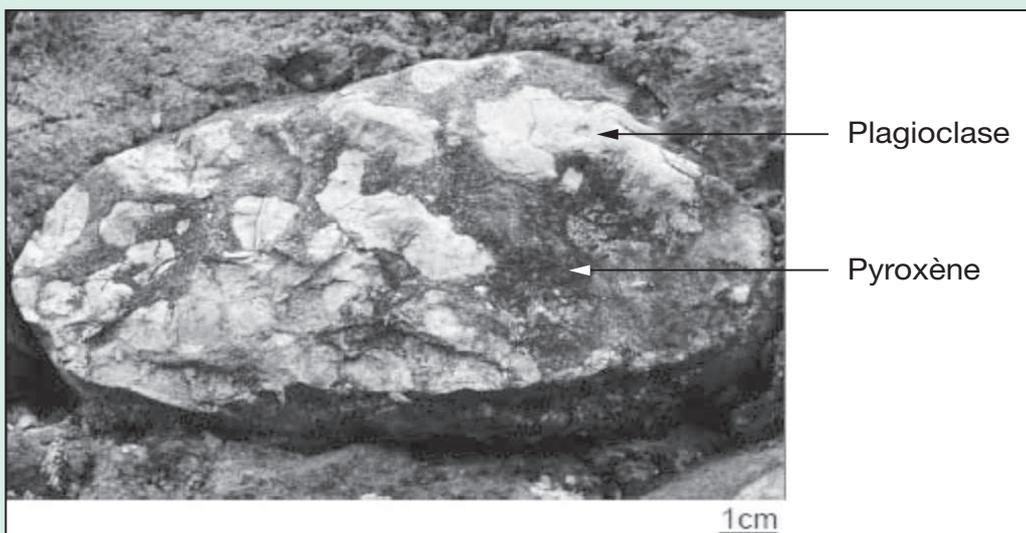
L'âge de cette formation géologique est estimé au Miocène (Messinien) à la fin de l'ère Tertiaire.



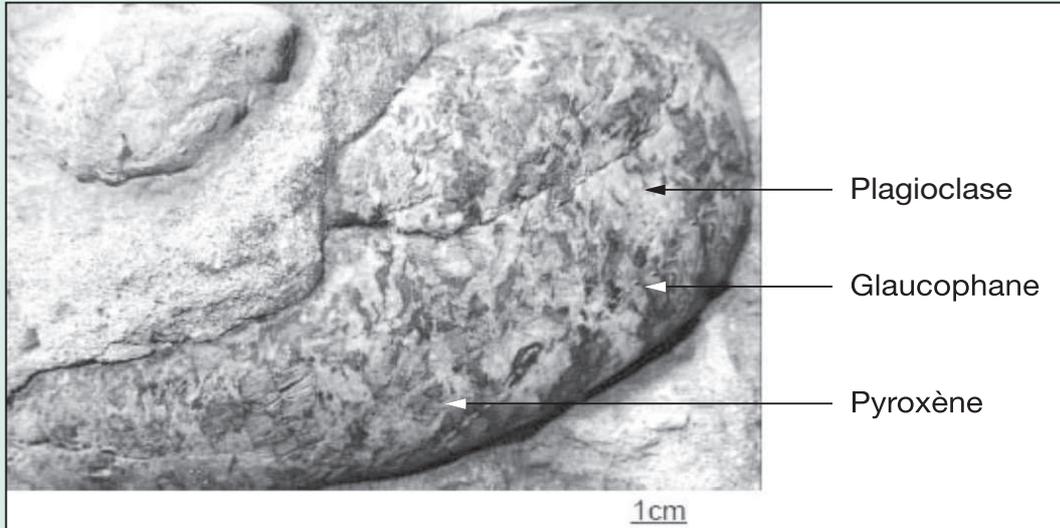
**Photographie du conglomérat des Mées**

**b. Détail des galets**

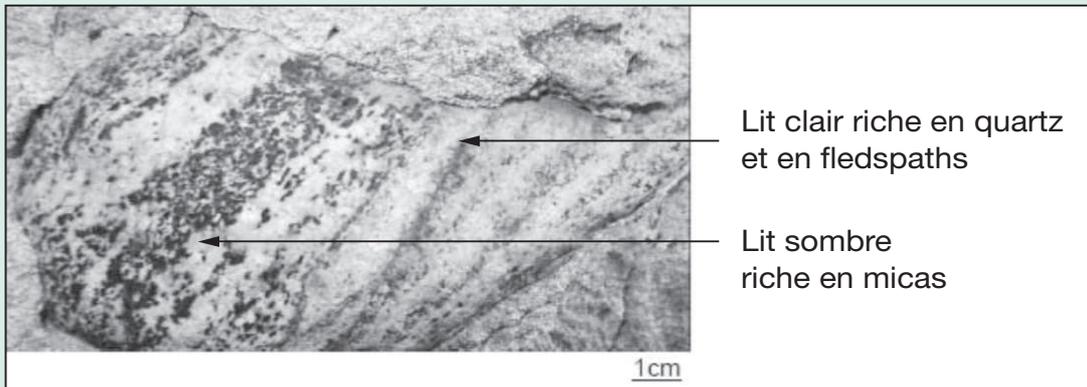
L'inventaire des galets montre des roches très variées : une grande majorité de ces galets est d'origine sédimentaire (calcaires, grès...) mais on retrouve aussi en plus faible quantité des galets de nature magmatique et métamorphique.



**Photographie d'un galet de gabbro**



**Photographie d'un galet de métagabbro**

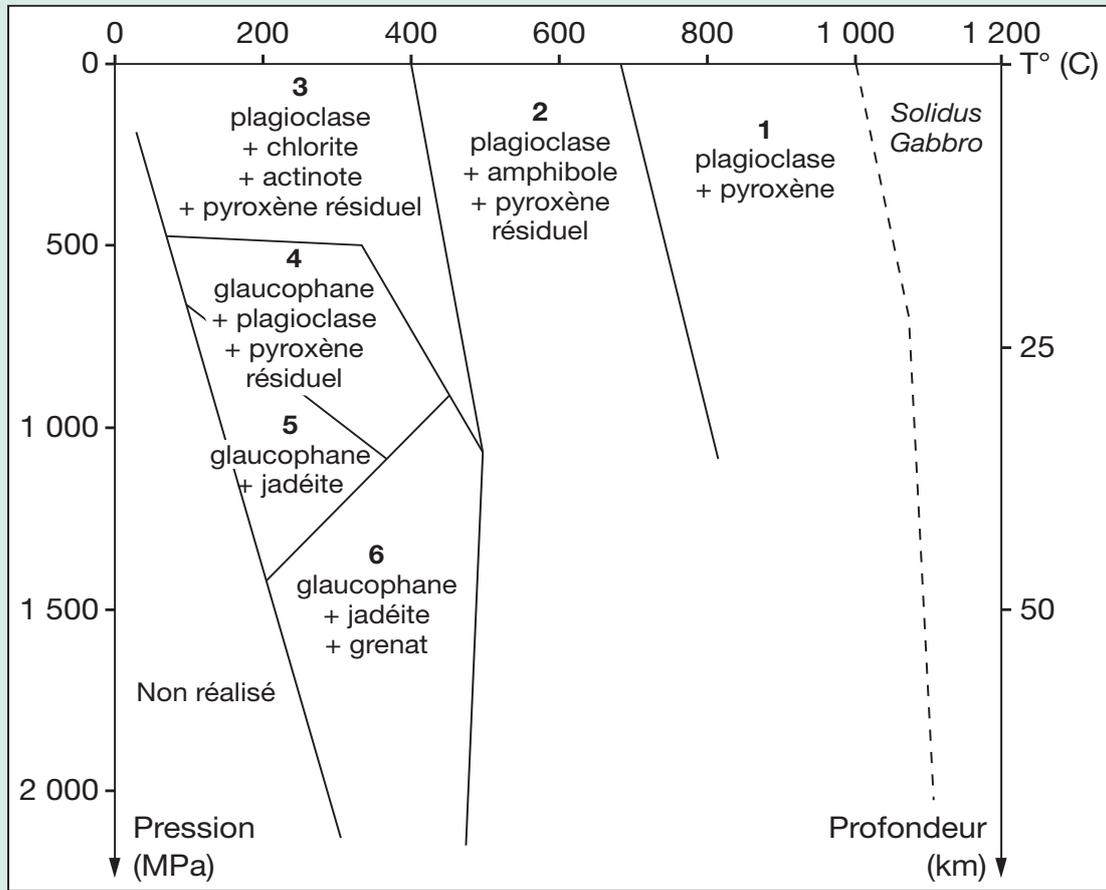


**Photographie d'un galet de gneiss**

Ce gneiss est un granite métamorphisé sous l'effet de l'augmentation des conditions de pression-température.

DOCUMENT 3

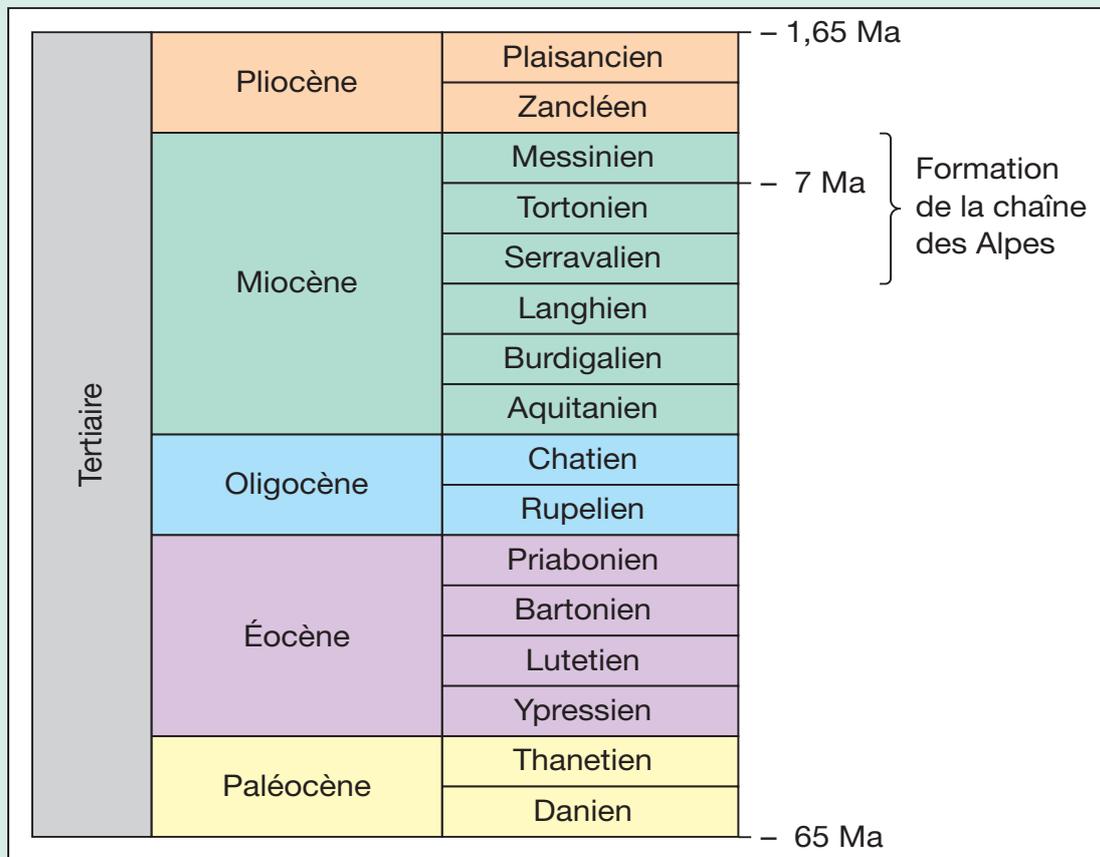
**Diagramme pression-température et champ de stabilité de certains minéraux du gabbro et des métagabbros**



D'après [svt.ac-dijon.fr/schemassvt](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt)

ENS. SPÉCIFIQUE

## DOCUMENT 4

Échelle des temps géologiques  
au cours de l'ère Tertiaire

## LES CLÉS DU SUJET

## ■ Comprendre le sujet

- Le sujet consiste à exploiter des données sur le conglomérat des Mées pour retrouver des épisodes de la formation de la chaîne alpine (chaîne de collision). Vous devez utiliser les documents fournis en ayant en tête vos connaissances sur les étapes de la formation d'une chaîne de collision.
- Le sujet implique d'envisager non seulement des processus géologiques responsables de la formation de la chaîne, mais aussi ceux en jeu dans la disparition des reliefs d'une chaîne de montagnes, sans pour cela les développer exagérément en récitant votre cours.

**■ Mobiliser ses connaissances**

Les chaînes de montagnes présentent souvent les traces d'un **domaine océanique disparu** (ophiolites). La « suture » de matériaux océaniques résulte de l'affrontement de deux lithosphères continentales (collision). **Altération et érosion** contribuent à l'effacement des reliefs. Les produits du démantèlement sont **transportés** sous forme solide ou soluble, le plus souvent par l'eau, jusqu'en des lieux plus ou moins éloignés où ils se déposent (**sédimentation**).

**CORRIGÉ 21**

ENS. SPÉCIFIQUE

**Introduction**

Les Pénitents des Mées sont des colonnes rocheuses constituées d'un conglomérat formé de galets liés par un ciment (**document 2**). De formation récente ( $< - 7\ 000\ 000$  d'années, **documents 2a et 4**) leurs galets proviennent du démantèlement de la chaîne alpine.

Ils permettent d'envisager les mécanismes qui sont la cause de cette **érosion**. D'autre part, l'analyse de ces galets apporte des données sur les processus géologiques responsables de **la formation de cette chaîne**.

**I. Des galets indices d'une histoire océanique des Alpes****A. Les galets de gabbro (document 2b)**

- Nature : le gabbro est une roche entièrement cristallisée formée par l'association de minéraux (pyroxènes et plagioclases). C'est une **roche magmatique**.
- Provenance : sur la carte géologique (**document 1**), on constate l'absence d'affleurement de gabbros mais la présence d'affleurements d'ophiolites. Les gabbros peuvent provenir de ces ophiolites qui sont des lambeaux de lithosphère océanique charriés sur la lithosphère continentale. En effet, cette lithosphère océanique est constituée de basaltes et de gabbros de la croûte océanique reposant sur des péridotites du manteau.

Ces ophiolites révèlent qu'il existait un océan à l'emplacement des Alpes.

**B. Les galets de métagabbro**

- Comme le galet de gabbro, celui de métagabbro est formé d'une association des mêmes minéraux (pyroxènes et plagioclases) auxquels s'ajoutent des cristaux de **glaucophane**.



- Le **document 3** indique que l'association feldspath, glaucophane et pyroxène résiduel est stable à des profondeurs comprises entre 20 et 35 km et à des températures comprises entre 50 et 400 °C. Le métagabbro, comme son nom l'indique, provient du métamorphisme d'un gabbro.
- La croûte océanique n'ayant que quelques kilomètres d'épaisseur, cela signifie que les gabbros de la lithosphère océanique ont été entraînés en profondeur (20 à 30 km) et sont devenus des métagabbros. C'est l'indice d'une subduction de la lithosphère océanique qui a conduit à la fermeture de l'océan alpin.

Ces métagabbros se retrouvent en surface alors qu'ils se sont formés à grande profondeur. Ils ont été ramenés en surface au cours de la **collision des deux lithosphères** continentales que séparait l'océan alpin.

## II. Les galets de gneiss témoins d'une collision

- Le gneiss est une roche caractéristique du socle d'une croûte continentale. Les galets des Mées doivent donc provenir d'un tel socle. La croûte continentale affleure (**document 1**) sous la forme de massifs constitués de roches du socle.
- Le **document 2b** indique que le gneiss est un granite métamorphisé. Alors que gneiss et granite sont constitués des mêmes minéraux (quartz, feldspaths et micas), leurs structures diffèrent. Les minéraux du granite sont disposés sans orientation préférentielle alors que ceux du gneiss forment des lits clairs de quartz-feldspaths alternant avec des lits micacés sombres.
- Le passage de la structure du granite à celle du gneiss résulte d'un métamorphisme lié à l'augmentation des conditions de température et de pression. Ces conditions impliquent un épaissement de la croûte continentale à la suite de la **superposition d'écaillés de socle au cours de la collision**.

## III. La disparition des reliefs

- Les galets proviennent de formations rocheuses appartenant à la chaîne alpine. Ils témoignent d'une fragmentation des ophiolites et des massifs cristallins et résultent donc d'une **érosion mécanique**.

Ces fragments ont ensuite été transportés. Leur forme arrondie suggère une usure liée à un transport par l'eau d'une rivière, sans doute la Durance ancienne.

### Info

Contrairement aux gabbros et métagabbros des galets, ce gneiss ne s'est pas formé au cours de la collision ayant donné naissance à la chaîne alpine, mais au cours de la collision hercynienne qui a conduit à la chaîne hercynienne, socle des massifs cristallins alpins.

- Ces galets se sont **déposés** dans un bassin sédimentaire au niveau des Mées, jusqu'à donner une formation sédimentaire de 800 m d'épaisseur. Le dépôt de ces galets s'est accompagné de celui de matériaux plus fins (précipitation de calcaires transportés sous forme soluble, particules argileuses...) ayant soudé les galets entre eux pour **constituer le conglomérat**.

## Bilan

Les galets de gabbro et de métagabbro sont les témoins de l'histoire océanique de la chaîne des Alpes, histoire qui se termine par la collision de deux lithosphères continentales.

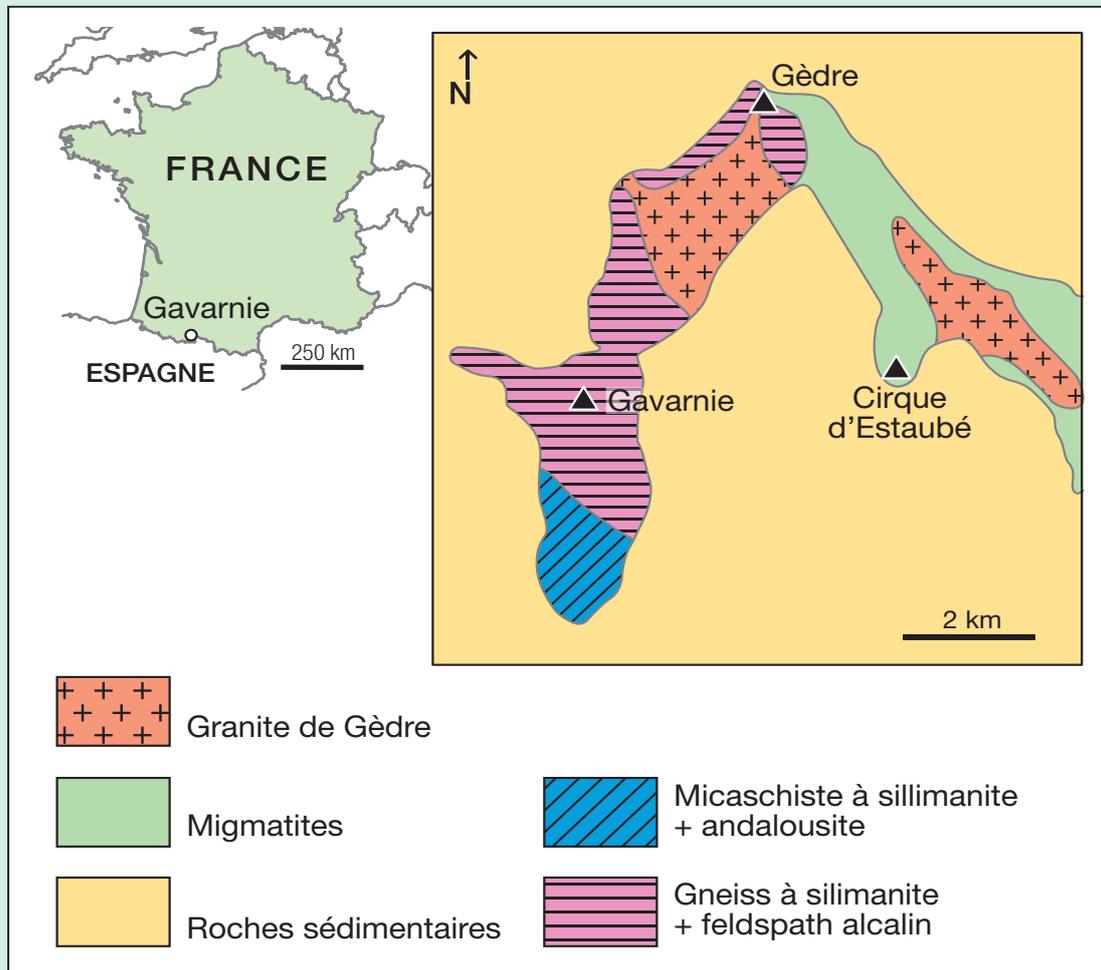
- Le document 4 indique que les conglomérats des Mées, d'âge messinien, se sont formés durant la dernière période de la formation des Alpes, liée à la collision. Érosion, transport et sédimentation contribuent à la disparition des reliefs au cours de la formation de la chaîne.
- Les reliefs des Pénitents des Mées résultent eux-mêmes de l'érosion du conglomérat après sa formation. La destruction de la chaîne est toujours en cours.



## Métamorphisme et magmatisme des roches de la région de Gavarnie

DOCUMENT 1

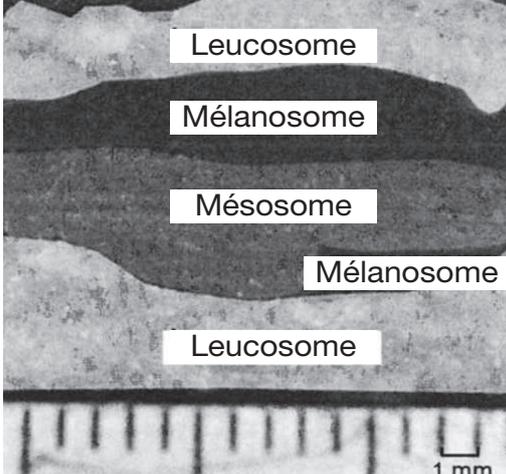
Carte simplifiée du métamorphisme de la région de Gavarnie



D'après *Synthèse géologique des Pyrénées*, BRGM, ITGE, 1998

## DOCUMENT 2

## Migmatide d'Estaubé

Photographie d'une migmatide d'Estaubé	Interprétation minéralogique
	 <p>Leucosome</p> <p>Mélanosome</p> <p>Mésosome</p> <p>Mélanosome</p> <p>Leucosome</p> <p>1 mm</p>

**Leucosome** : niveau dont la proportion en minéraux clairs (quartz, feldspaths) est plus importante que celle en minéraux sombres (biotite, cordiérite). Il résulte de la cristallisation d'un liquide produit par fusion partielle. Les cristaux sont de grande taille et non déformés.

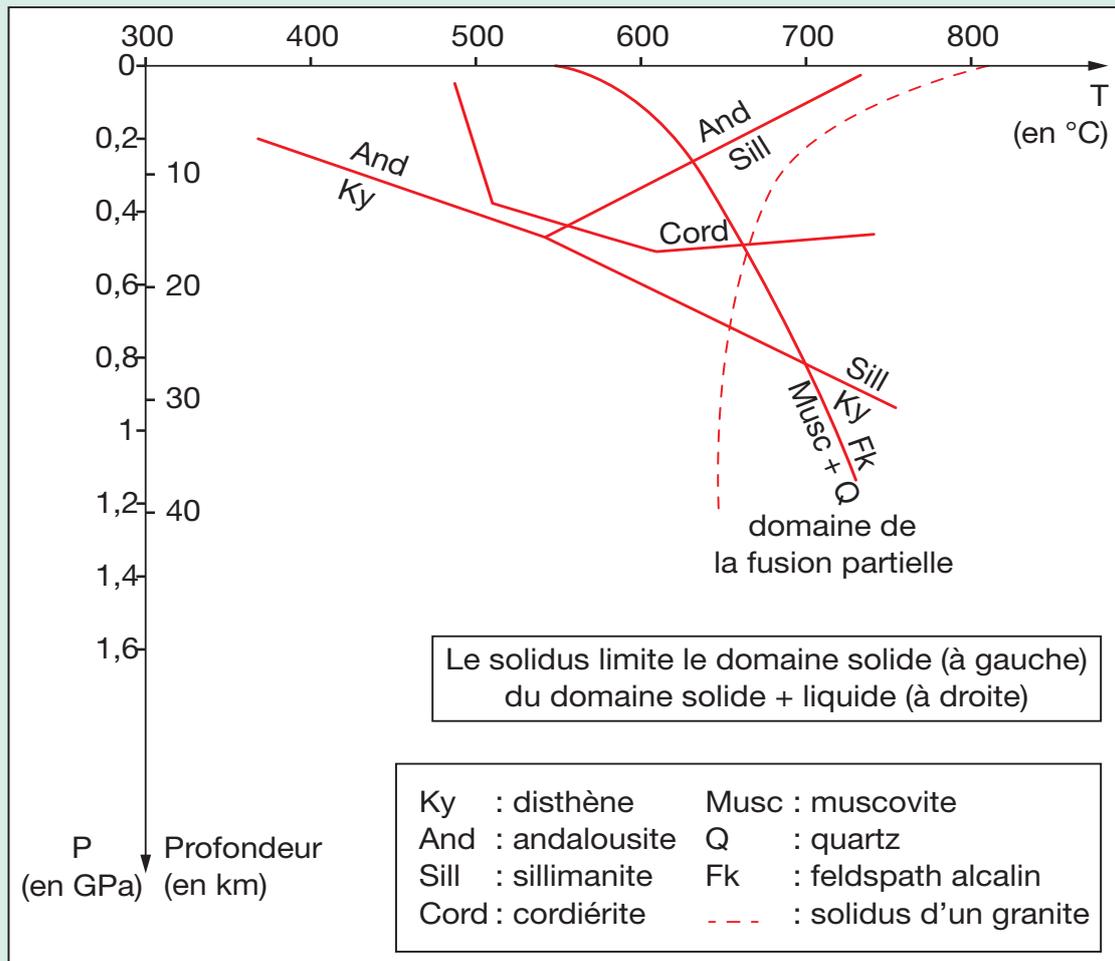
**Mélanosome** : niveau enrichi en minéraux sombres (biotite, cordiérite). Il correspond au résidu non fondu après une fusion partielle. Des traces de déformation sont présentes.

**Mésosome** : niveau intermédiaire avec une proportion équivalente de minéraux sombres et clairs. La séparation entre le liquide formé et le résidu est incomplète.

D'après le site <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt>

DOCUMENT 3

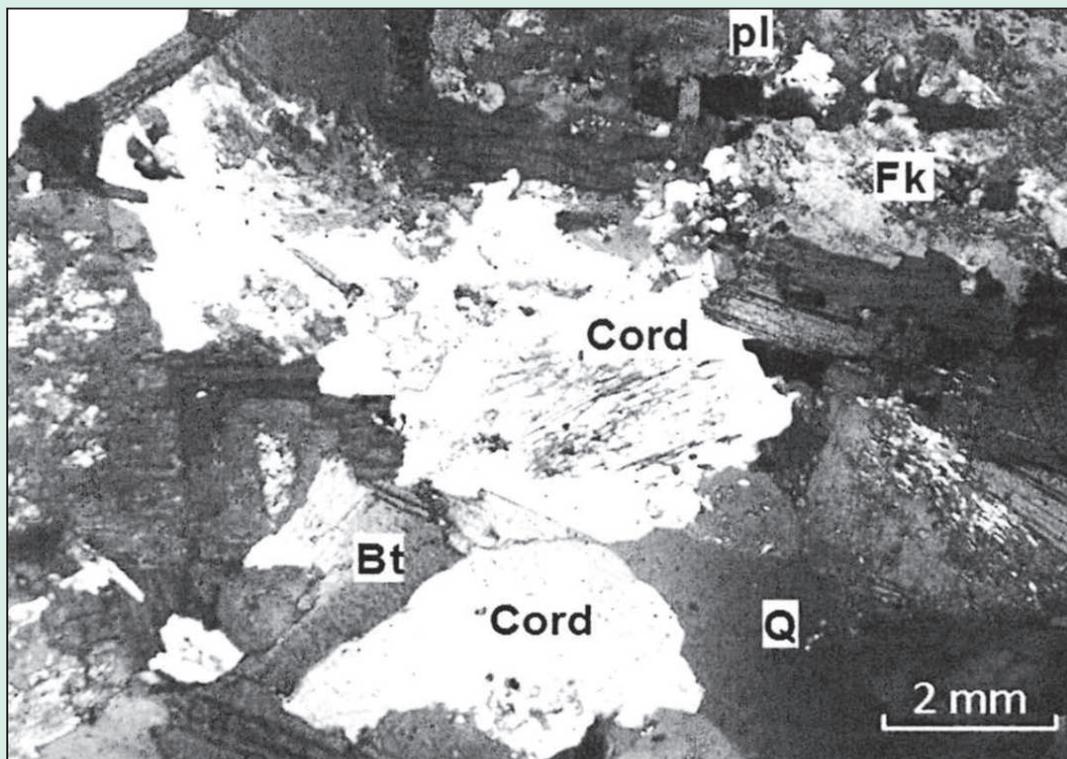
Domaines de stabilité de quelques minéraux repères



D'après le site <http://disciplines.ac-montpellier.fr/svt>

DOCUMENT 4

**Photographie d'une lame mince du granite de Gèdre observée au microscope polarisant en LPA**



- Q : Quartz
- Bt : Biotite
- Fk : feldspath alcalin
- pl : feldspath plagioclase
- Cord : cordiérite

D'après le site <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt>

ENS. SPÉCIFIQUE

DOCUMENT 5

**Composition minéralogique des granites en fonction de l'origine du magma**

Composition minéralogique	Muscovite ± Biotite	Biotite ± Cordiérite	Feldspath alcalin ± Biotite	Amphibole calcique ± Pyroxène calcique	Amphibole ± Pyroxène	Amphibole sodique ± Pyroxène sodique
Origine du magma	ORIGINE CRUSTALE			ORIGINE MANTELLIQUE		

D'après Barbarin B., *Lithos*, 1999



► En utilisant les informations des documents et vos connaissances, montrez que les roches de la région de Gavarnie témoignent de transformations en profondeur et expliquez l'origine du granite de Gèdre.

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Les roches de la région de Gavarnie résultent de la transformation de roches préexistantes, qui leur ont fait acquérir des caractéristiques structurales et minéralogiques. Il s'agit, à partir de ces caractéristiques, de montrer que les transformations qu'elles ont subies ont eu lieu en profondeur.
- Pour interpréter les caractéristiques de ces roches, le document 3 sur les domaines de stabilité de quelques minéraux repères est indispensable. Il ne faut pas l'analyser pour lui-même, mais l'utiliser comme un outil permettant d'établir les conditions de température et de pression qui ont permis à ces roches d'acquérir leurs caractéristiques.
- Il faut bien entendu relier cela au fait que la température et la pression dans la croûte continentale augmentent avec la profondeur.
- Vous devez savoir que les roches qui se forment en profondeur sont les roches métamorphiques et les roches magmatiques plutoniques comme le granite. Il vous faut identifier, parmi les roches de Gavarnie, celles qui sont métamorphiques et celles qui sont plutoniques. Une roche magmatique se forme toujours à partir de la fusion partielle ou totale d'une roche préexistante.
- Expliquer l'origine du granite de Gèdre revient donc à indiquer quelle roche a subi la fusion conduisant à la formation d'une quantité importante de magma qui, en se refroidissant, a donné le granite. Les informations sur la migmatite d'Estaubé sont à exploiter pour conduire à cette explication.
- Enfin, il faut bien saisir que les différences entre ces roches de Gavarnie sont dues au fait qu'elles ont été placées dans des conditions différentes, essentiellement de température, et donc que, des micaschistes au granite, on observe une gradation dans l'intensité des transformations subies.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- L'épaisseur de la croûte d'une chaîne de montagnes résulte d'un épaissement lié à un raccourcissement et à un empilement. On en trouve des indices pétrographiques (métamorphiques, traces de fusion partielle).
- Par « métamorphisme », on entend les transformations à l'état solide subies par les roches lorsqu'elles sont placées dans des conditions de température et (ou) de pression différentes de celles existant au cours de leur formation initiale.
- Le magma à l'origine d'une roche magmatique provient de la fusion partielle ou totale d'une roche préexistante.

**CORRIGÉ 22**

Au cours de l'histoire géologique d'une région, des roches peuvent subir des conditions variables de température et de pression, d'où résultent des transformations. C'est le cas des roches affleurant actuellement dans la région de Gavarnie, pour lesquelles on va déterminer que les indices de transformations qu'elles présentent indiquent des conditions de température et de pression qui n'existent qu'en profondeur.

**I. Les roches métamorphiques de la région de Gavarnie**

- Le titre du document 1 indique que les roches de Gavarnie illustrent le métamorphisme. Par métamorphisme, on entend les transformations à l'état solide subies par les roches lorsque des phénomènes géologiques, comme la subduction ou la collision, les conduisent à être soumises à des conditions de température et/ou de pression différentes de celles de leur formation initiale.
- Les roches strictement métamorphiques de Gavarnie sont les micaschistes et les gneiss. Les transformations subies ont fait apparaître dans ces roches des minéraux repères : sillimanite et andalousite pour les micaschistes, sillimanite et feldspath alcalin pour le gneiss.
- Le document 3 renseigne sur les domaines de stabilité de ces minéraux repères, donc sur les conditions de température et de pression que ces roches ont subies pour être le siège des transformations conduisant à ces minéraux.

- La présence de **sillimanite** dans les micaschistes témoigne que les transformations de cette roche ont eu lieu à une température **au moins égale à 540 °C**, température minimale pour que ce minéral soit stable. Normalement, dans le domaine de stabilité de la sillimanite, l'andalousite n'est pas stable puisque la sillimanite est un minéral qui provient de la transformation de l'andalousite. Bien qu'étant dans le domaine de la sillimanite, la roche a préservé des cristaux d'andalousite. La transformation d'andalousite en sillimanite n'a pas été complète, ce qui peut s'interpréter comme une roche qui a été soumise à des conditions proches de la frontière entre les domaines de stabilité de l'andalousite et de la sillimanite.
- Le gneiss, contrairement au micaschiste, possède des feldspaths alcalins. Sur le diagramme du document 3, le **domaine de formation de cette roche** est situé à droite de l'intersection de la droite « **And-Sill** » et de la courbe « **Fk – Musc + Q** ». Ce domaine de formation est limité à droite par le solidus du granite. Cela signifie que la roche a été conduite à une température minimale de **630 °C** environ. En ce qui concerne la pression maximale à laquelle a été soumis ce gneiss, elle correspond à celle existant à une profondeur de 15 km environ.
- Les températures de transformation du micaschiste et du gneiss ne peuvent exister qu'en profondeur, ce qui confirme l'affirmation énoncée dans le libellé du sujet.
- **La roche à l'origine du gneiss a été portée à une température supérieure à celle à l'origine du micaschiste, ce qui traduit un métamorphisme plus fort.**

**Info**

Le sujet ne précise pas quelles roches sont à l'origine de ces roches métamorphiques. Il s'agit probablement, dans les deux cas, d'une roche sédimentaire plus ou moins argileuse.

## II. La migmatite d'Estaubé

- Le **leucosome** de la migmatite résulte de la cristallisation d'un liquide, donc d'un magma. Il est entièrement cristallisé, et sa richesse en quartz et en feldspath indique qu'il est de nature granitique. Cela signifie que la roche qui est devenue une migmatite **a fondu à certains endroits** et que le liquide de fusion a cristallisé sur place, donnant le leucosome. Le **mésosome** donne une idée de la roche ayant subi cette fusion partielle, probablement proche d'un **gneiss**.
- On peut estimer que **le solidus de ce gneiss** est quasi identique à celui du granite. En conséquence, pour subir une fusion partielle, la roche a été entraînée dans un domaine où les conditions le permettent. Cela implique une température plus élevée et correspondant à des valeurs situées un peu à droite du solidus.



• Le **mélanosome** correspond à des minéraux non fondus du gneiss, dont la **cordiérite**. Ce minéral permet de limiter en profondeur la pression à laquelle a été soumis le gneiss. Elle correspond à une profondeur qui ne dépasse guère une quinzaine de kilomètres.

Par rapport au gneiss à sillimanite et feldspath alcalin, la roche devenue migmatite a subi un **métamorphisme plus fort** aboutissant à un début de fusion partielle, donc à la genèse d'îlots de roche magmatique granitique.

**Notez bien**

Le leucosome a une structure grenue, ce qui indique qu'il s'est cristallisé en profondeur.

**Info**

Dès qu'il y a fusion partielle, on quitte le domaine du métamorphisme pour celui du magmatisme.

### III. Origine du granite de Gèdre

• Le document 1 montre que, dans la région de Gavarnie, le granite de Gèdre est associé à la migmatite. Cela suggère une relation entre les mécanismes à l'origine de ces deux roches. Le granite de Gèdre évoque le leucosome de la migmatite. Il résulterait d'une roche passée par le stade migmatite, mais ayant subi une fusion beaucoup plus généralisée et ayant produit une grande quantité de magma qui, en se refroidissant, a donné le granite. Cela implique que la roche a été soumise à des températures plus élevées pouvant aller jusqu'à plus de 700 °C.

Suivant cette interprétation, le granite de Gèdre provient de la fusion en profondeur de roches de la croûte continentale (origine crustale). On dit que c'est un granite d'anatexie.

• Le document 5 confirme cette interprétation. Le granite de Gèdre ne possède pas de minéraux comme les amphiboles et les pyroxènes, qui sont marqueurs d'une origine mantellique. En revanche, il possède biotite et cordiérite, minéraux de granites provenant de la solidification d'un magma d'origine crustale.

### Bilan

• Les roches de la région de Gavarnie illustrent **les diverses étapes** que les roches crustales en profondeur subissent, sous l'action d'une augmentation de température surtout, transformations métamorphiques aboutissant finalement à une fusion généralisée et productrice d'un magma à l'origine d'un granite.

• **La collision** marquée par un épaissement de la croûte continentale crée les conditions favorables à cette évolution.

## Subduction et géothermie

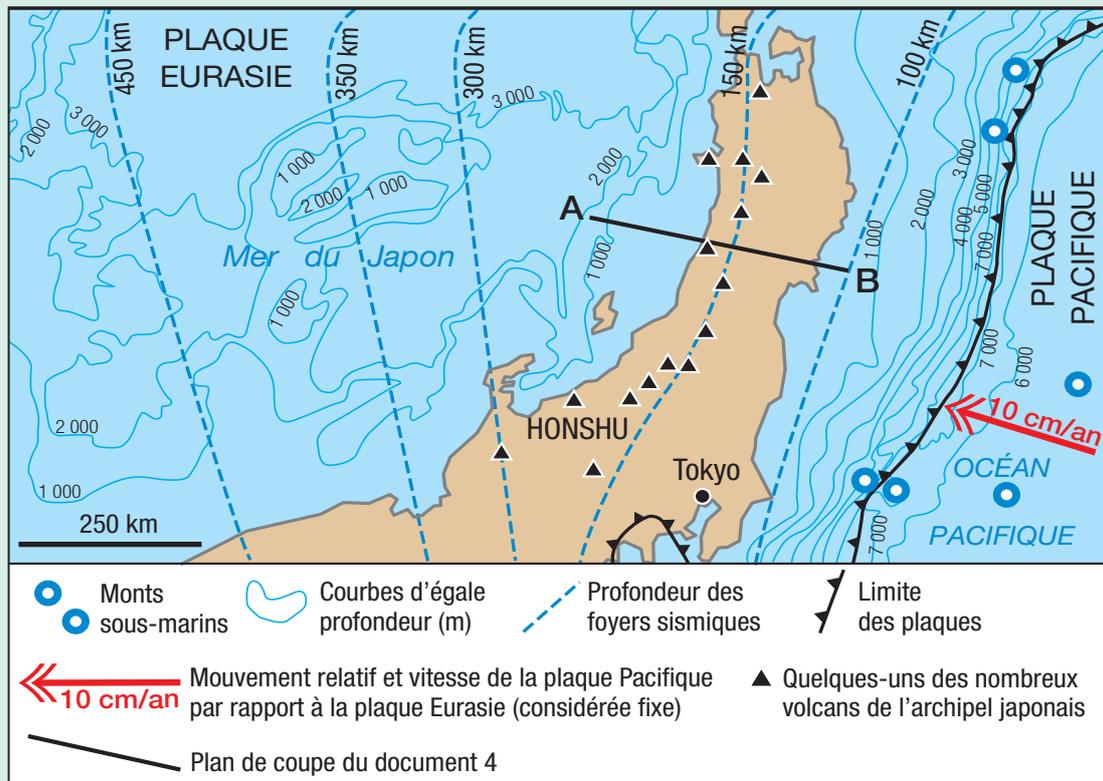
Depuis l'accident nucléaire de Fukushima, le Japon accélère sa politique de transition énergétique et cherche de nouvelles sources d'énergie.

► En utilisant les informations des documents et vos connaissances :

- définissez le contexte géodynamique du Japon ;
- montrez que ce contexte est favorable à l'exploitation de la géothermie.

## DOCUMENT 1

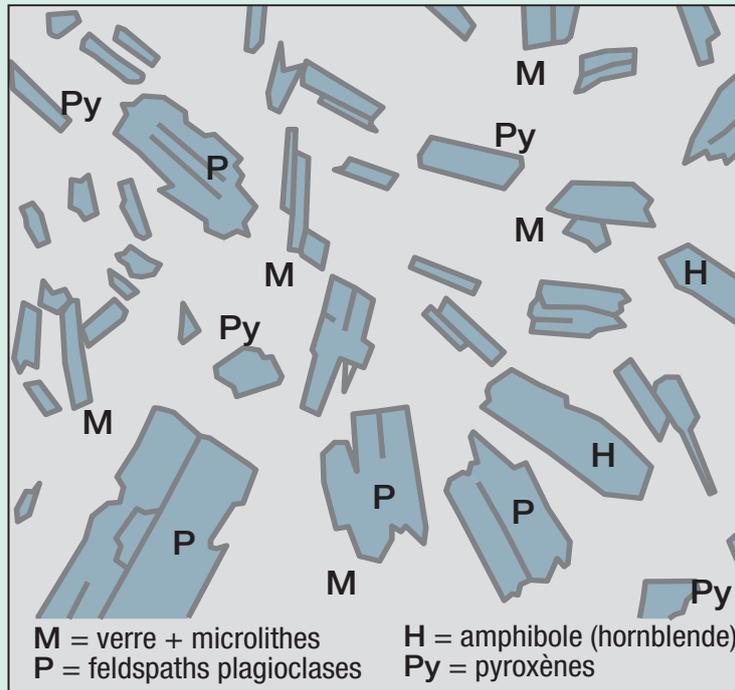
### Carte bathymétrique du Japon indiquant la profondeur des foyers sismiques



D'après la banque de schémas de SVT, académie de Dijon.

## DOCUMENT 2

## Schéma interprétatif de lame mince de roche volcanique prélevée au Japon



D'après planet-terre.ens-lyon.fr.

ENS. SPÉCIFIQUE

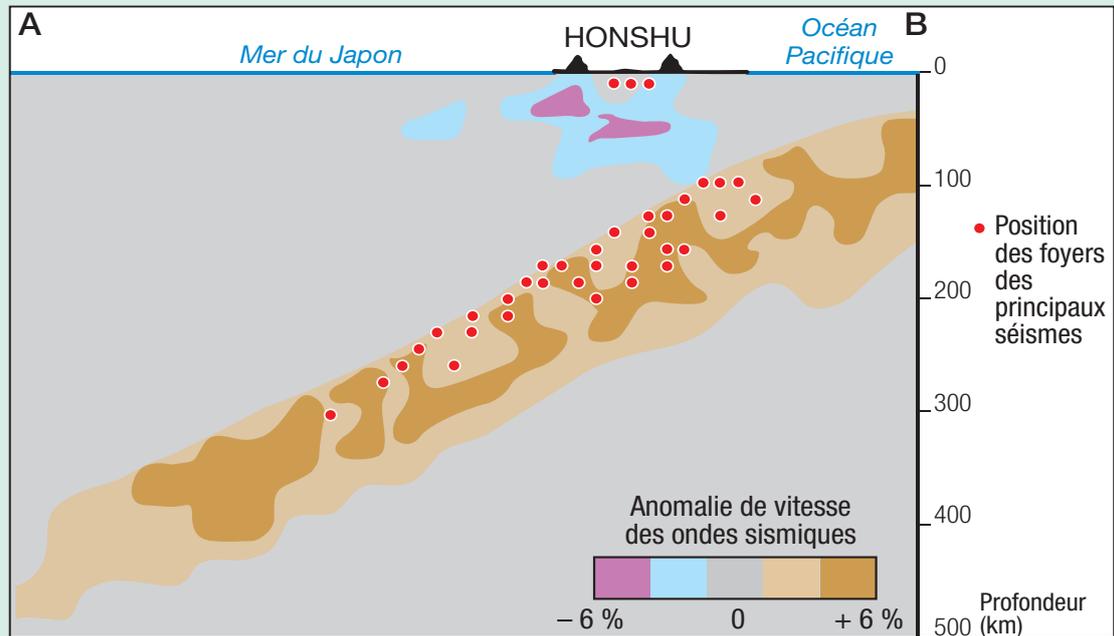
## DOCUMENT 3

## Comparaison minéralogique des différentes roches magmatiques

	Structure	Composition			
		Pyroxène	Quartz	Amphibole	Feldspath plagioclase
Gabbro	grenue	+			+
Basalte	microlithique	+			+
Andésite	microlithique	+		+	+
Granodiorite	grenue	+	+	+	+

## DOCUMENT 4

## Tomographie sismique et position des foyers sismiques selon la coupe A-B du document 1

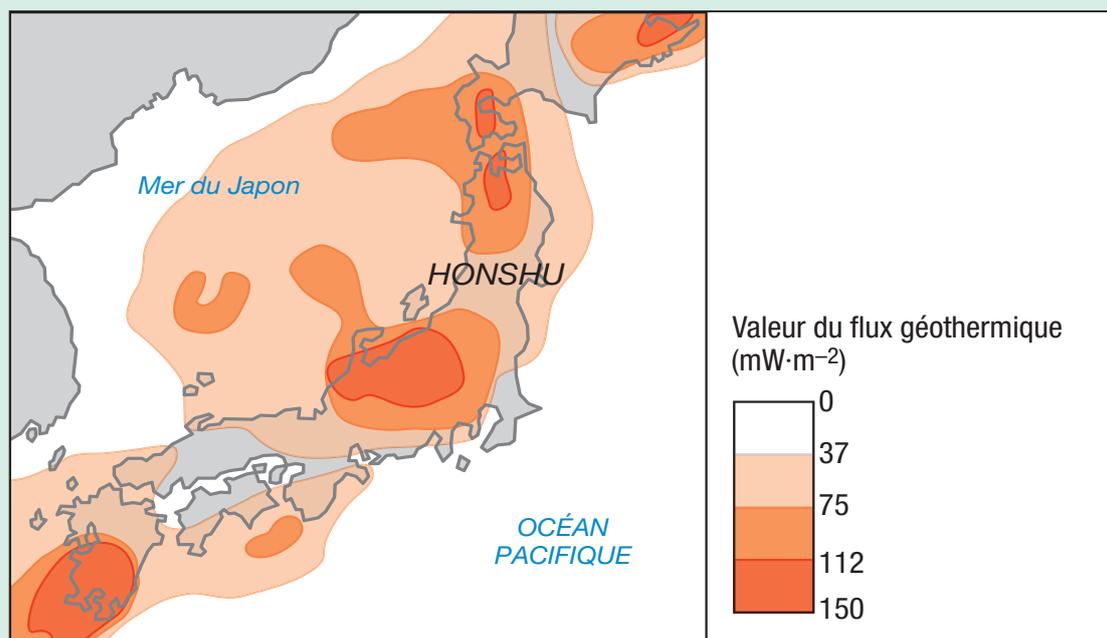


La tomographie sismique est une technique permettant de visualiser en profondeur les variations de la vitesse de propagation des ondes sismiques. Plus le matériau traversé est froid, plus l'anomalie de vitesse des ondes sismiques est positive. Plus le matériau traversé est chaud, plus l'anomalie de vitesse des ondes sismiques est négative.

D'après Zhao *et al.*, *Journal of Geophysical Research*, 1994.

## DOCUMENT 5

## Flux géothermique relevé à la surface du Japon



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

Le plan à suivre est fourni par le libellé du sujet. Il faut d'abord exploiter les documents 1 à 4 pour conclure que le contexte géodynamique du Japon est celui d'une zone de subduction. Ensuite, vous devez exploiter les documents 4 et 5 pour montrer que ce contexte amène à un gradient géothermique et à un flux géothermique élevés, ce qui est propice à l'exploitation géothermique.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- Ce sujet fait appel à des connaissances de Première sur les marqueurs de la subduction. Les indices des zones de subduction doivent pouvoir être reconnus sur divers types de documents.
- Dans les zones de subduction, des volcans émettent des laves de type andésitique souvent visqueuses associées à des gaz, et dont les éruptions sont fréquemment explosives.

ENS. SPÉCIFIQUE

**CORRIGÉ 23****I. Le contexte géodynamique du Japon****1. Les marqueurs d'une zone de subduction**

- Le document 1 permet de localiser **deux plaques** : la plaque eurasienne et la plaque Pacifique. La frontière entre ces deux plaques est marquée, dans l'océan Pacifique, par des profondeurs importantes de l'ordre de 7 000 m témoins de l'existence le long de cette frontière d'une **fosse, l'un des marqueurs de la subduction**.
- Les lignes de profondeurs des foyers sismiques indiquent qu'ils sont de **plus en plus profonds lorsqu'on s'éloigne vers l'ouest** de la frontière des plaques.
- Le document 1 montre également l'existence d'un **volcanisme important** sur la plaque eurasienne. Les documents 2 et 3 permettent de définir la nature de ce volcanisme. Le document 2 schématise une lame mince de roche de **structure microlithique** (présence d'un verre et de microlithes), donc d'une **roche volcanique** possédant des **feldspaths plagioclases**, de **l'amphibole** (hornblende) et des **pyroxènes**. Le document 3 indique que seule **l'andésite**, roche microlithique, présente cette association de minéraux. Un tel volcanisme andésitique est **caractéristique d'une zone de subduction**.



En conclusion, les différents marqueurs existant dans cette région permettent d'affirmer qu'il s'agit d'une zone de subduction : la plaque Pacifique plongeant, tel que l'indiquent les lignes de séismes, sous la plaque eurasiennne, plaque chevauchante qui présente un volcanisme andésitique caractéristique.

## 2. Visualisation de la subduction

- Le document 4 montre l'existence d'une région sismique de l'ordre de 100 km d'épaisseur, de plus en plus profonde d'est en ouest. C'est une zone où la **vitesse** de propagation des ondes sismiques est **supérieure** à la normale, ce qui indique que sa température est inférieure à celle attendue aux différentes profondeurs.

### Notez bien

Les températures sont relatives : la zone marron-marron est, pour une profondeur donnée, plus froide que son environnement.

- C'est une zone plus froide que son environnement et où sont localisés de nombreux foyers sismiques, indiquant qu'il s'agit d'une région lithosphérique. C'est donc une **plaque lithosphérique plongeant d'est en ouest**.

- Cela **confirme la subduction** de la plaque Pacifique sous la plaque Eurasie.

## II. Une structure géodynamique favorable à l'exploitation de la géothermie

- Le document 4 montre également que, sous les volcans, il existe des régions (entre 0 et 100 km) dans lesquelles la vitesse de propagation des ondes sismiques présente une anomalie négative traduisant la présence d'un matériel plus chaud qu'attendu.

Le **gradient géothermique élevé dans cette région** est en rapport avec l'activité magmatique dans la zone de subduction.

- Le document 5 montre que, dans l'île de Honshu, des régions associées à l'activité volcanique (document 1) présentent un flux géothermique élevé (entre 112 et 150 mW/m<sup>2</sup>). Cela confirme que **des températures élevées existent près de la surface** et laisse à penser qu'il existe des

**nappes d'eau chaude**, à faible profondeur, pouvant être exploitées par la géothermie de moyenne et surtout de haute énergie.

Ainsi, le Japon comme d'autres zones de subduction (les Antilles, par exemple) s'avère être une région du globe favorable à l'exploitation de la géothermie comme source d'énergie.

### Info

Le flux géothermique est celui libéré à la surface de la Terre à la suite de sa conduction dans la lithosphère. Il est égal au produit du gradient géothermique par un coefficient de conductibilité thermique, qui dépend de l'aptitude des roches à transmettre la chaleur par conduction. Il s'exprime en watts ou en milliwatts par m<sup>2</sup>. Sa valeur moyenne est de 0,06 W/m<sup>2</sup>, ou 60 mW/m<sup>2</sup>.



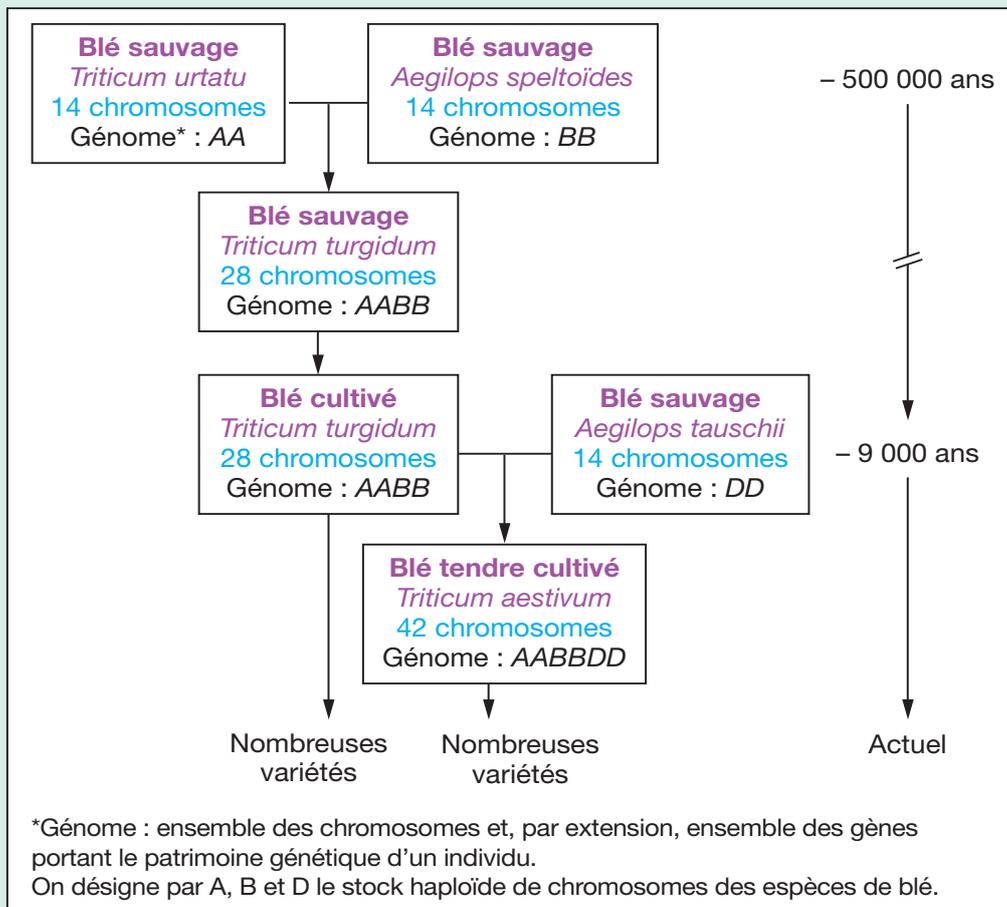
## Obtention d'une variété de blé tendre

L'histoire évolutive complexe du blé, basée sur des phénomènes naturels et des pratiques empiriques de croisements ou de génie génétique, a permis la production d'une variété de blé tendre facilement récoltable et résistant à un champignon parasite, l'oïdium.

► À partir de l'étude des documents et de vos connaissances, expliquez les étapes de l'obtention de cette variété de blé tendre facilement récoltable et résistant à l'oïdium.

## DOCUMENT 1

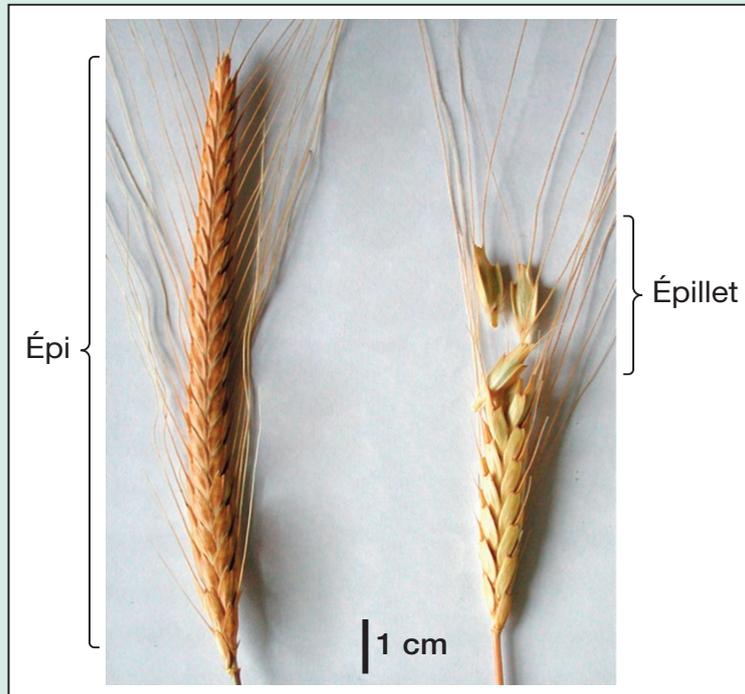
## Histoire évolutive du blé



D'après le communiqué de presse du CNRS du 15 novembre 2011

**DOCUMENT 2 Le gène Q, élément clé de la domestication du blé**

La domestication du blé a permis l'apparition de populations de blé ayant un phénotype différent de celui du blé sauvage.



À gauche	À droite
Épi de blé indéhiscent* domestiqué dont la tige centrale ou rachis ne se désarticule pas, favorisant ainsi sa récolte.	Épi sauvage dont les épillets sont en train de se disséminer à maturité.

Des chercheurs ont montré que le blé tendre possède trois copies du gène Q, portées respectivement par les génomes A, B, D, et qu'elles contribuent de manière coordonnée aux caractères de domestication.

D'après George Willcox et Ken-Ichi Tanno, *Science*, 2006

\*Indéhiscent : qui ne s'ouvre pas spontanément au moment de la maturité. Ce nouveau caractère issu de la domestication est contrôlé par le gène Q porté par les chromosomes n° 5.

**DOCUMENT 3 CRISPR-Cas9, une technique de génie génétique**

CRISPR-Cas9, découverte récente de deux scientifiques (2012), française pour l'une, Emmanuelle Charpentier, et américaine pour l'autre, Jennifer Doudna, est une technique de génie génétique permettant d'agir spécifiquement sur un gène (mutation, activation, inhibition...).

D'après *Pour la Science*, n° 56, octobre 2015

## DOCUMENT 4

**Comparaison de deux variétés de blés tendres**

Récemment, des biologistes ont réussi à obtenir une variété de blé tendre résistant à un champignon parasite, l'oïdium, en appliquant la technique CRISPR-Cas9.

Pour ce faire, ils sont intervenus sur un gène qui inhibe les défenses naturelles de la plante vis-à-vis de ce champignon.

	Particularité du génome de chaque variété de blé tendre pour le gène inhibant les défenses de la plante vis-à-vis de l'oïdium
Variété de blé tendre sensible à l'oïdium	6 exemplaires actifs du gène
Variété de blé tendre résistant à l'oïdium	6 exemplaires mutés du gène par CRISPR-Cas9

ENS. SPÉCIFIQUE

**LES CLÉS DU SUJET**

## ■ Comprendre le sujet

- Le document sur l'histoire évolutive du blé permet d'aboutir à la conclusion que le blé tendre est une plante polyploïde, précisément hexaploïde, à la suite de deux épisodes d'hybridation dans lesquels l'Homme n'est pas en cause.

Ce document laisse à penser qu'il suffit de réunir par hybridation les génomes des deux espèces parentales pour obtenir un hybride dont le génome est double de celui de chacune d'entre elles. En cours, vous avez peut-être appris que l'hybridation conduit à un hybride diploïde stérile (hybride AB à la suite de la première hybridation), et qu'il faut chez cet hybride un phénomène de duplication du génome pour obtenir un hybride fertile (AABB). N'hésitez pas à l'évoquer dans votre réponse, comme cela est suggéré dans un post-it du corrigé.

- Avec le deuxième document, il faut montrer comment l'hexaploïdie du blé tendre a contribué à l'acquisition d'un caractère de la domestication, à savoir l'obtention d'un blé à épi indéhiscent. Là, l'Homme est intervenu en sélectionnant les plantes possédant ce caractère.

- Enfin, le dernier document permet d'introduire la notion d'OGM tout en indiquant en quoi la technique utilisée prend en compte la polyploïdie du blé tendre.



**■ Mobiliser ses connaissances**

- Des mécanismes de diversification des génomes autres que ceux résultant des mutations et des brassages génétiques existent : hybridations suivies de polyploïdisation, transfert par voie virale, etc.
- La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées a souvent retenu des caractéristiques génétiques différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages.
- Les techniques du génie génétique permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées.

**CORRIGÉ 24**

Le blé cultivé est une plante domestiquée, il a donc pour origine des plantes sauvages. Nous allons observer les étapes qui ont conduit à obtenir un blé tendre, facilement récoltable et résistant à l'oïdium.

**I. Une première phase sans intervention humaine**

- Le document 1 montre qu'il y a 500 000 ans, une **hybridation** entre deux espèces sauvages de blé (*Triticum urtatu* x *Aegilops speltoïdes*) a eu lieu. Chacune de ces deux espèces était diploïde ( $n = 7$  ;  $2n = 14$ ).

Cette **hybridation naturelle** a conduit à l'apparition d'une nouvelle espèce de blé sauvage (*Triticum turgidum*), dont le génome comprend les  $2n$  (AA) chromosomes de *Triticum urtatu*

et les  $2n$  chromosomes BB d'*Aegilops speltoïdes* : la nouvelle variété étant donc **tétraploïde** ( $4n = 28$ ).

Ce document laisse à penser que les gamètes des deux blés sauvages impliqués dans l'hybridation étaient diploïdes, et donc qu'il n'y a pas eu de méiose à l'origine de ces gamètes.

L'espèce tétraploïde *T. turgidum* devait posséder des caractéristiques intéressantes pour l'Homme, ce qui a conduit ce dernier à la cultiver (il y a environ 100 000 ans).

**INFO**

Cette tétraploïdie implique qu'à chaque type de chromosome de *T. urtatu* correspond un chromosome d'*A. speltoïdes*.

**ATTENTION !**

En réalité, on a montré que l'hybridation impliquait des gamètes normalement haploïdes et donc que l'hybride obtenu était diploïde, mais stérile à cause d'un mauvais appariement des chromosomes A et B au cours de la méiose. Un doublement du nombre de chromosomes a donc été nécessaire pour que cet hybride devienne tétraploïde et fertile.



- Le blé cultivé *T. turgidum* s'est **hybridé naturellement** avec une autre espèce de blé sauvage de génome DD, ce qui a conduit à l'espèce *T. aestivum*, dont le génome AABBDD résulte de l'association de celui de *T. turgidum* (AABB) à celui d'*A. tauschii* (DD). **Ce blé tendre est donc hexaploïde.**
- En résumé, deux hybridations sont intervenues dans la genèse du blé tendre. La première il y a 500 000 ans, la deuxième il y a 9 000 ans.

## II. L'exploitation des caractères génétiques du blé tendre

### A. La sélection

- L'Homme a **sélectionné et cultivé** le blé tendre car il présentait des épis indéhiscents facilitant sa récolte (**document 2**). Ce phénotype indéhiscant est dû au génome hexaploïde issu des deux hybridations successives mentionnées précédemment.
- En effet, le **document 2** indique que le blé tendre possède trois **copies du gène Q (donc six allèles)**. Ces trois copies participent de manière coordonnée au caractère « facilement récoltable » du blé tendre.

L'Homme a **sélectionné ce caractère indéhiscant**.

### B. La résistance à l'oïdium créée par génie génétique

- La sensibilité à l'oïdium est due à un **gène qui inhibe** les défenses naturelles de la plante vis-à-vis de ce champignon. Le blé tendre, puisque hexaploïde, possède six allèles actifs de ce gène inhibiteur.
- Pour rendre le blé tendre cultivé résistant à l'oïdium, la technique CRISPR-Cas9, mise au point récemment (2012, **document 3**), permet d'agir spécifiquement sur chacun de ces allèles en les modifiant de façon à les rendre inactifs : c'est une **mutation artificielle provoquée par l'Homme**, grâce au génie génétique. Le gène ne s'exprime plus et le blé a donc des défenses naturelles vis-à-vis de ce champignon.

## Conclusion

Le blé tendre cultivé résistant à l'oïdium est l'aboutissement d'une longue histoire faisant intervenir :

- des phénomènes naturels d'hybridation suivis de sélection par l'Homme ;
- des manipulations génétiques faisant du blé tendre cultivé un organisme génétiquement modifié (OGM), mais en dehors de tout apport de gènes provenant d'une autre espèce : ce blé OGM est doté d'un phénotype nouveau, celui de résistance à l'oïdium.

## La myasthénie

La myasthénie est une maladie dont l'un des symptômes est une faiblesse musculaire des membres, caractérisée par une difficulté à la contraction musculaire et une fatigabilité excessive.

Cette maladie résulte d'une réaction immunitaire adaptative à médiation humorale, dépendant d'une coopération avec des lymphocytes T et aboutissant à la production d'anticorps spécifiques dirigés contre les récepteurs post-synaptiques de la synapse neuromusculaire.

► **Après avoir décrit la réponse immunitaire aboutissant à la libération d'anticorps, expliquez comment la production d'anticorps spécifiques des récepteurs post-synaptiques rend difficile la contraction musculaire chez un patient atteint de myasthénie.**

*Votre exposé comportera une introduction, un développement structuré, une conclusion et sera illustré d'un schéma comparant le fonctionnement d'une synapse neuromusculaire d'un individu sain au fonctionnement d'une synapse neuromusculaire d'un patient myasthénique. La sélection des lymphocytes impliqués n'est pas attendue.*

### LES CLÉS DU SUJET

#### ■ Comprendre le sujet

- Le sujet porte sur deux parties du programme : la réaction immunitaire adaptative et le fonctionnement de la synapse neuromusculaire.
- Généralement, il n'y a pas de réaction immunitaire adaptative contre des molécules du soi. Dans le cas de la myasthénie, qui est une maladie auto-immune, les manifestations de la maladie résultent d'une réaction immunitaire humorale contre des molécules du soi, les récepteurs à l'acétylcholine. Néanmoins, les mécanismes aboutissant à la production d'anticorps anti-récepteurs à l'acétylcholine sont les mêmes que ceux aboutissant à la production et la libération d'anticorps contre des antigènes externes. L'introduction du sujet vous indique d'ailleurs les points à développer.

- En ce qui concerne l'action des anticorps, il ne faut pas décrire les modalités de leur action en général. Les consignes du sujet vous demandent de n'exposer que la façon dont les anticorps anti-récepteurs à l'acétylcholine perturbent le fonctionnement des synapses neuromusculaires et, par là, la réponse des muscles aux messages moteurs qu'ils reçoivent.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- L'immunité adaptative assure une action contre des molécules ou des parties de molécules.
- Les cellules de l'immunité adaptative, lymphocytes B et T, ne deviennent effectrices qu'après une rencontre avec un antigène grâce aux phénomènes de sélection, d'amplification et de différenciation clonales.
- La commande de la contraction musculaire met en jeu le fonctionnement des synapses neuromusculaires.

## CORRIGÉ 25

### Introduction

L'entrée d'un antigène dans un organisme entraîne une réponse immunitaire à médiation humorale se traduisant par la production d'anticorps spécifiques. Généralement, il n'existe pas de réaction immunitaire contre les molécules propres à l'organisme. Mais, dans le cas de certaines maladies, cela peut arriver et conduire à la libération d'anticorps dirigés contre des molécules du soi : les récepteurs à l'acétylcholine (RACH) dans le cas de la myasthénie. Nous allons exposer dans une première partie les étapes de la réaction immunitaire aboutissant à la formation d'anticorps. Puis, dans un deuxième temps, nous expliquerons comment les anticorps anti-RACH contribuent à l'apparition des symptômes de la myasthénie.

### I. La réaction immunitaire à médiation humorale

#### A. La reconnaissance de l'antigène par des lymphocytes B

- Les lymphocytes B reconnaissent les antigènes grâce à des récepteurs, molécules protéiques ancrées dans leur membrane. **Ces récepteurs sont des anticorps membranaires.** Il existe, avant toute introduction d'antigène, des milliards de clones de lymphocytes B différant par les caractéristiques de leurs anticorps membranaires.



- Chaque lymphocyte B possède des milliers de molécules d'anticorps identiques et les lymphocytes B d'un clone possèdent le même type d'anticorps. En revanche, **ces anticorps membranaires diffèrent d'un clone à un autre.**
- Dans les ganglions lymphatiques, l'antigène va être reconnu par des lymphocytes B, mais uniquement par ceux possédant des anticorps membranaires susceptibles de se lier à lui. Cette reconnaissance est donc spécifique : **chaque lymphocyte ne reconnaît qu'un antigène bien déterminé.**

### **B. La coopération entre lymphocytes B et lymphocytes T4 et la libération d'anticorps**

- Les lymphocytes B ayant reconnu l'antigène sont **activés par cette reconnaissance**, mais cela ne suffit pas pour les amener à se multiplier et se différencier. Ils doivent pour cela recevoir **un second signal** émis par les **lymphocytes T4**.
- Comme pour les lymphocytes B, il existe des milliards de clones de lymphocytes T4 différant par leurs récepteurs membranaires, chacun reconnaissant un antigène spécifique présenté par une cellule dendritique (CPA).
- Ces récepteurs membranaires appelés **récepteurs T** ne sont pas des anticorps membranaires, mais leur spécificité repose sur le même principe que celui des anticorps. Les lymphocytes T4 ayant reconnu l'antigène se multiplient et se différencient en lymphocytes sécréteurs de messagers chimiques : **les interleukines**.
- Dans les ganglions lymphatiques où ont lieu les réactions immunitaires, les **interleukines stimulent** les lymphocytes B activés (lymphocytes B ayant reconnu l'antigène), qui se multiplient et se différencient en cellules sécrétrices d'anticorps, les **plasmocytes**. Les anticorps sécrétés par voie sanguine peuvent ainsi atteindre les différents organes du corps.

#### **ATTENTION !**

Les interleukines sont des protéines non spécifiques, mais seuls réagissent les lymphocytes B ayant reconnu l'antigène car, à la suite de cette reconnaissance, ils ont acquis des récepteurs aux interleukines.

### **C. Les anticorps sécrétés et la neutralisation de l'antigène**

Les anticorps sécrétés possèdent **les mêmes sites de reconnaissance de l'antigène que les anticorps membranaires**. Ils sont capables de se lier spécifiquement aux molécules d'antigène qui ont déclenché leur formation.

## II. Les anticorps anti-RACH et les symptômes de la myasthénie

### A. Le déclenchement normal de la contraction musculaire

- La contraction d'un muscle est déclenchée par l'arrivée d'un message nerveux sous forme d'un **train de potentiels d'action** arrivant à l'extrémité des axones moteurs au niveau des synapses (jonctions) neuromusculaires (figure 1a).
- L'extrémité de l'axone constitue **l'élément pré-synaptique** de la synapse, alors que la membrane plasmique de la fibre musculaire (appelée plaque motrice) située juste en dessous est **l'élément post-synaptique**. Un **espace synaptique** sépare les deux éléments de la synapse.
- L'extrémité pré-synaptique de l'axone possède des vésicules qui contiennent des molécules d'un neuromédiateur, **l'acétylcholine** (ACh). L'arrivée d'un potentiel d'action provoque l'exocytose des vésicules pré-synaptiques et la libération des molécules d'acétylcholine dans l'espace synaptique.
- Les molécules d'acétylcholine ainsi libérées se fixent alors sur des **récepteurs à l'acétylcholine** (RACH) situés sur la membrane de la fibre musculaire au niveau de la **plaque motrice**. Cette liaison acétylcholine-récepteur entraîne **la genèse d'un potentiel d'action musculaire** qui se propage le long de la fibre musculaire et déclenche sa contraction.

### B. Les effets des anticorps anti-RACH sur le fonctionnement de la synapse neuromusculaire

- Dans la réaction immunitaire humorale, les anticorps sécrétés possèdent **les mêmes sites de reconnaissance de l'antigène que les anticorps membranaires**. Ils sont capables de se lier spécifiquement aux molécules d'antigène qui ont déclenché leur formation.
- C'est le cas pour les anticorps produits au cours de la réaction immunitaire anti-RACH : les anticorps anti-RACH présents dans l'espace synaptique se fixent par leurs sites de reconnaissance sur les récepteurs à l'acétylcholine. Les récepteurs liés à un anticorps anti-RACH **ne peuvent alors plus fixer les molécules d'acétylcholine** (figure 1b).
- À la suite de l'arrivée d'un message nerveux pré-synaptique à la synapse, le nombre de récepteurs fixant l'acétylcholine est donc réduit, et la fibre musculaire s'en trouve moins stimulée. La fibre musculaire n'émet pas de potentiel d'action musculaire, et ne se contracte donc pas.

**Ce processus se produisant au niveau de nombreux muscles est à l'origine des symptômes observés** : faiblesse musculaire des membres, fatigabilité excessive, etc.

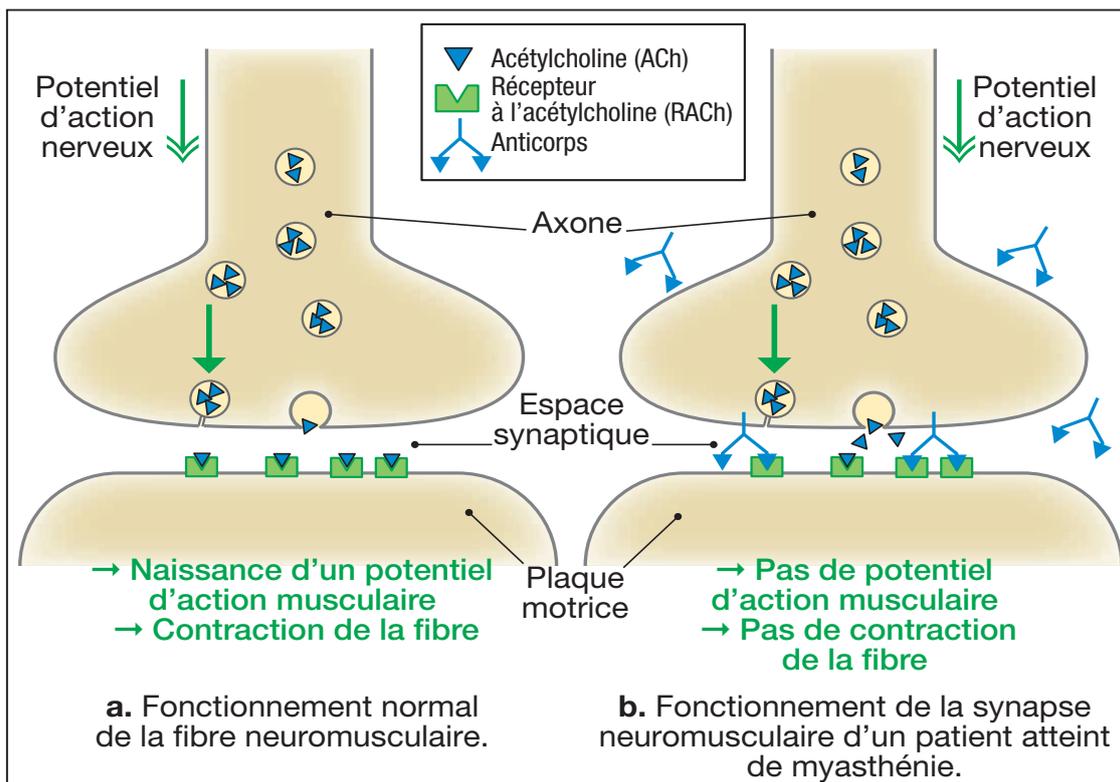


Figure 1. Comparaison du fonctionnement de la synapse neuromusculaire : normal (a) ou dans le cas de la myasthénie (b)

## Bilan

- La réaction immunitaire humorale est basée sur la reconnaissance d'un antigène par un clone de lymphocytes B spécifiques de cet antigène. Cette reconnaissance active les lymphocytes B qui, en collaboration avec les lymphocytes T4, produisent et libèrent des anticorps spécifiques de l'antigène.
- Les mécanismes à l'origine de la genèse des lymphocytes B dans les organes lymphoïdes produisent non seulement des lymphocytes capables de reconnaître les antigènes étrangers, mais également des lymphocytes B capables de reconnaître des molécules du soi. Ces derniers sont normalement inactivés ou détruits.
- Il arrive que certains clones de ces **lymphocytes B auto-réactifs échappent à l'inactivation**. Ils peuvent alors déclencher une réaction immunitaire à l'origine d'une **maladie auto-immune** (production d'anticorps contre une molécule du soi) comme la myasthénie.
- Dans le cas de la myasthénie, les anticorps se fixent sur les récepteurs de l'acétylcholine des plaques motrices et **perturbent le fonctionnement des synapses neuromusculaires**. Cela empêche les muscles squelettiques des membres de fonctionner normalement en réponse à leur stimulation.

## Une nouvelle arme contre le staphylocoque doré

Le staphylocoque doré (*Staphylococcus aureus*) est une bactérie présente sur la peau et dans les voies nasales des êtres humains.

Parfois, des souches virulentes de staphylocoque doré peuvent causer une infection, le plus souvent locale, mais qui peut aussi être généralisée et s'avérer potentiellement mortelle quand les bactéries pénètrent dans la circulation sanguine et se propagent à d'autres organes.

Pour lutter contre cette bactérie, on dispose d'antibiotiques, substances chimiques permettant de détruire des bactéries ou d'empêcher leur développement ; mais ils sont parfois inefficaces et les rechutes (reprises de l'infection) sont fréquentes.

Des chercheurs ont tenté d'améliorer le traitement par antibiotiques en les combinant à des anticorps.

On cherche à expliquer comment la combinaison antibiotique-anticorps pourrait rendre plus efficaces les traitements contre le staphylocoque doré et ainsi éviter les rechutes.

## DOCUMENT 1

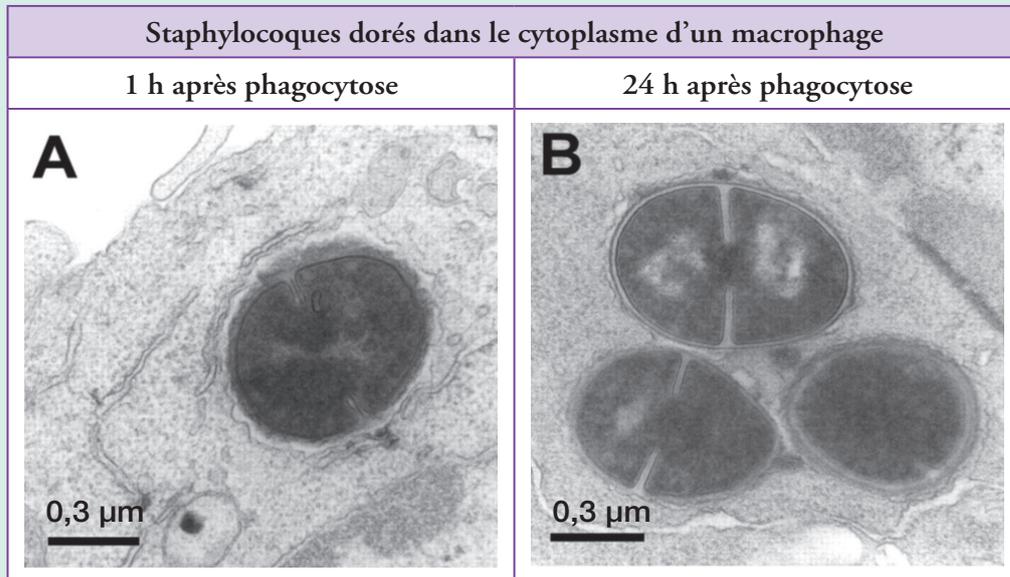
### L'infection par le staphylocoque doré

Suite à une blessure, par exemple, le staphylocoque doré peut pénétrer dans l'organisme.

Face à sa multiplication dans le milieu extracellulaire, des défenses immunitaires innées se mettent en place. Ceci se traduit par la phagocytose des bactéries par les macrophages.

Cependant, les macrophages ne parviennent pas à détruire la totalité des staphylocoques phagocytés. En effet, certains staphylocoques peuvent échapper à la destruction et se multiplier à l'intérieur même des macrophages.

**Photographies prises au microscope électronique d'un macrophage ayant phagocyté un staphylocoque doré**



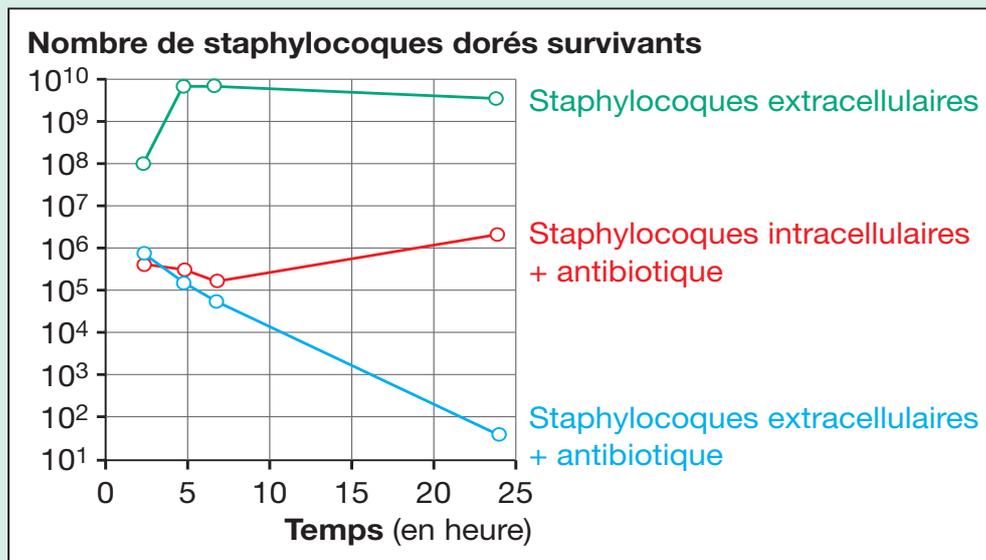
© 2003, American Society for Microbiology  
 - Seral et coll. in Antimicrobial Agents and Chemotherapy

D'après S. Lemaire, *Étude de l'activité de l'ertapénème vis-à-vis des infections bactériennes*, 2003

DOCUMENT 2

**Action des antibiotiques sur le staphylocoque doré**

Le graphique ci-dessous montre l'action d'un antibiotique, injecté à  $t = 0$ , sur le staphylocoque doré présent à l'extérieur des cellules (forme extracellulaire) ou à l'intérieur (forme intracellulaire) dans des cultures cellulaires de macrophages.

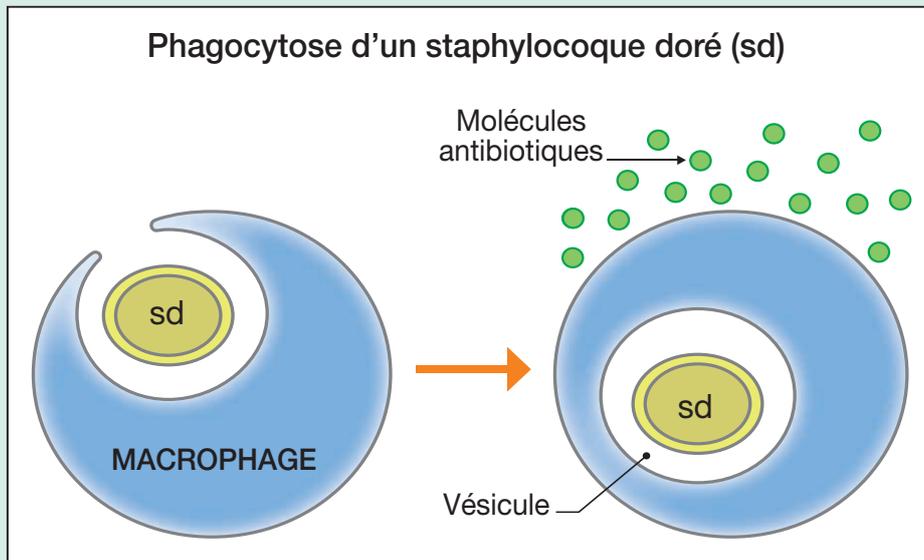


D'après Sophie M. Lehar *et al.*, *Nature*, 2015



DOCUMENT 3

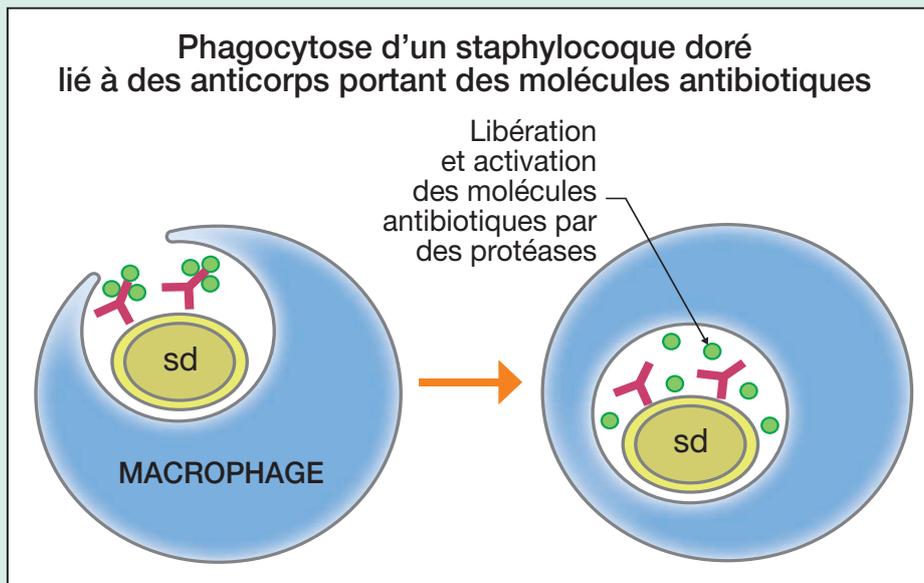
Rôle des anticorps dans le traitement antibiotique contre le staphylocoque doré



Pour améliorer le traitement antibiotique contre les formes intracellulaires du staphylocoque doré, on associe un antibiotique inactif à un anticorps spécifique de la bactérie.

Ces conjugués anticorps-antibiotiques inactifs reconnaissent les staphylocoques dorés et s'y accrochent.

Ils pénètrent ainsi avec les bactéries à l'intérieur des macrophages où ils subissent l'action de substances chimiques nommées protéases qui libèrent et activent les antibiotiques.



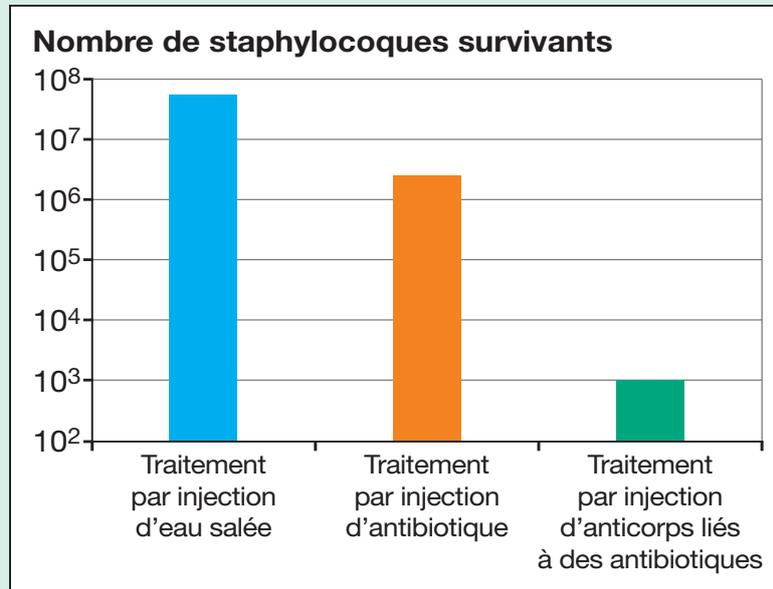
D'après Sophie M. Lehar *et al.*, *Nature*, 2015

ENS. SPÉCIFIQUE

## DOCUMENT 4

**Efficacité de l'action des antibiotiques contre le staphylocoque doré intracellulaire**

On mesure la persistance de staphylocoques dorés intracellulaires dans les reins de souris quatre jours après le début de l'infection lors de différents traitements.



D'après Aline Aurias, *La Recherche*, 2016

► À l'aide de l'exploitation des documents proposés, indiquez la bonne réponse dans chaque série de propositions.

- D'après le document 1, les macrophages :
  - sont totalement inefficaces contre les staphylocoques dorés.
  - se multiplient à l'intérieur des staphylocoques dorés.
  - sont des refuges intracellulaires pour les staphylocoques dorés.
  - détruisent tous les staphylocoques dorés.
- D'après le document 2, les rechutes après un traitement antibiotique sont dues au fait que les antibiotiques contre le staphylocoque doré :
  - ont la même efficacité contre les formes intracellulaires et extracellulaires de la bactérie.
  - sont plus efficaces contre la forme extracellulaire que contre la forme intracellulaire de la bactérie.
  - sont plus efficaces contre la forme intracellulaire que contre la forme extracellulaire de la bactérie.
  - sont totalement inefficaces contre les formes intracellulaires et extracellulaires de la bactérie.

- 3.** D'après le document 3, les anticorps conjugués aux antibiotiques :
- empêchent les staphylocoques dorés de pénétrer dans les macrophages.
  - détruisent les macrophages.
  - détruisent les staphylocoques dorés à l'extérieur des macrophages.
  - favorisent la pénétration des antibiotiques dans les macrophages.
- 4.** D'après le document 3, les protéases produites par les macrophages permettent :
- la prolifération des bactéries intracellulaires.
  - l'activation des antibiotiques.
  - l'activation des anticorps.
  - la destruction des macrophages.
- 5.** D'après le document 4, les antibiotiques conjugués aux anticorps :
- sont totalement inefficaces contre la forme intracellulaire du staphylocoque doré.
  - sont moins efficaces contre la forme intracellulaire du staphylocoque doré que les antibiotiques seuls.
  - sont plus efficaces contre la forme intracellulaire du staphylocoque doré que les antibiotiques seuls.
  - sont aussi efficaces contre la forme intracellulaire du staphylocoque doré que les antibiotiques seuls.
- 6.** D'après la mise en relation des documents proposés, pour qu'un traitement contre le staphylocoque doré puisse éliminer les formes extracellulaires et intracellulaires, il doit être composé :
- d'un antibiotique et d'un antibiotique conjugué à un anticorps.
  - d'un antibiotique conjugué à un anticorps.
  - d'un antibiotique seul.
  - d'anticorps seuls.

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- En dehors de connaissances générales sur les macrophages, les anticorps, les antibiotiques et le phénomène de phagocytose, toutes les informations utiles pour apprécier la validité des propositions sont à retirer des documents proposés.
- C'est un sujet qui, pour une question de type II.1, comporte beaucoup de documents dont la lecture et l'analyse prennent nécessairement du temps. Le sujet précise pour chaque série de propositions le document



à consulter, ce qui est un guide précieux pour repérer rapidement la proposition correcte dans chaque série.

- Pour extraire l'information pertinente, il est bon d'utiliser la méthode comparative, c'est-à-dire comparer le résultat de deux expériences différant par un seul paramètre.

### ■ Mobiliser ses connaissances

Les macrophages sont des cellules de l'immunité innée qui, grâce à leurs récepteurs, reconnaissent des motifs moléculaires portés par les microbes. Ils phagocytent ces derniers et sécrètent des cytokines, point de départ d'une réaction inflammatoire.

## CORRIGÉ 26

**1. c) Exact.** Le texte indique que certains staphylocoques phagocytés résistent à la destruction : le macrophage devient un refuge intracellulaire pour le staphylocoque.

**a) Faux.** Les macrophages peuvent phagocyter les staphylocoques et, s'ils ne parviennent pas à détruire la totalité des staphylocoques, ils en éliminent beaucoup, ce qui prouve qu'ils ne sont pas *totalemment* inefficaces.

**b) Faux.** C'est l'inverse ; ce sont les staphylocoques qui peuvent se multiplier à l'intérieur des macrophages.

**d) Faux.** Certains staphylocoques peuvent échapper à la destruction.

**2. b) Exact.** La comparaison des courbes « Staphylocoques intracellulaires + antibiotiques » et « Staphylocoques extracellulaires + antibiotiques » indique que le nombre de staphylocoques extracellulaires survivants est inférieur à 100 au bout de 25 heures, alors qu'il est de  $10^6$  pour les formes intracellulaires. L'antibiotique est donc beaucoup plus efficace contre les formes extracellulaires. C'est la persistance des formes intracellulaires qui est à l'origine des rechutes.

**a), c) et d) Faux.** Compte tenu de la réponse précédente, ces propositions sont fausses.



**3. d) Exact.** Les molécules d'antibiotiques sont fixées à des anticorps spécifiques du staphylocoque. Grâce à leurs sites de reconnaissance, les anticorps se lient alors aux antigènes du staphylocoque. Les macrophages phagocytent l'ensemble staphylocoque-anticorps-antibiotiques. Les antibiotiques se retrouvent ainsi dans le milieu intracellulaire du macrophage.

**a) Faux.** Le document montre le contraire.

**b) Faux.** Le document ne montre pas de destruction de macrophage.

**c) Faux.** Le document ne montre aucune destruction des staphylocoques à l'extérieur des macrophages sous l'action des anticorps.

**4. b) Exact.** Les protéases libèrent et activent les antibiotiques.

**a) Faux.** Les antibiotiques actifs à l'intérieur du milieu intracellulaire vont empêcher la prolifération des staphylocoques intracellulaires.

**c) Faux.** L'anticorps n'a été qu'un véhicule transporteur des antibiotiques activés par les protéases.

**d) Faux.** Les protéases ne détruisent pas les macrophages, elles agissent indirectement sur les staphylocoques intracellulaires par la libération des antibiotiques.

**5. c) Exact.** Le nombre de staphylocoques intracellulaires survivants après traitement par injection d'anticorps liés à des antibiotiques est nettement inférieur à ceux qui survivent après traitement aux antibiotiques seuls. Les antibiotiques associés aux anticorps sont donc plus efficaces que les antibiotiques seuls.

**b) et d) Faux.** Compte tenu de la réponse précédente, ces propositions sont fausses.

**a) Faux.** Les antibiotiques liés aux anticorps réduisent considérablement le nombre de staphylocoques survivants par rapport à l'injection d'eau salée (qui joue ici le rôle d'expérience témoin).

**6. a) Exact.** Les antibiotiques libres de ce traitement agissent efficacement sur les formes extracellulaires de staphylocoques et les antibiotiques liés aux anticorps sont efficaces sur les formes intracellulaires. Ce traitement sera donc très efficace car il permet d'agir sur toutes les formes de staphylocoques.

**b) Faux.** Seules les formes intracellulaires sont éliminées.

**c) Faux.** Ceci est efficace uniquement contre les bactéries extracellulaires.

**d) Faux.** D'après les informations dont nous disposons, les anticorps n'interviennent qu'en favorisant la phagocytose des staphylocoques par les macrophages.

Amérique du Nord • Juin 2018

PRATIQUE DU RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE

Exercice 2 • 5 points

## La coopération cellulaire entre macrophages et lymphocytes

► À partir de l'étude des documents et des connaissances, montrer que les mécanismes d'élimination de la *Listeria* résultent d'une coopération cellulaire.

## DOCUMENT 1

### *Listeria monocytogenes*

La bactérie *Listeria monocytogenes* est une bactérie pathogène, transmise essentiellement par l'ingestion d'aliments contaminés.

Au cours d'une infection, *Listeria monocytogenes* produit des facteurs de virulence qui lui permettent de se multiplier à l'intérieur de nombreuses cellules de l'organisme.

Ces bactéries à l'intérieur des macrophages peuvent alors :

- soit être détruites dans un processus de phagocytose classique ;
- soit échapper à cette destruction et se multiplier.

D'après un communiqué de presse Inserm-CNRS, février 2011

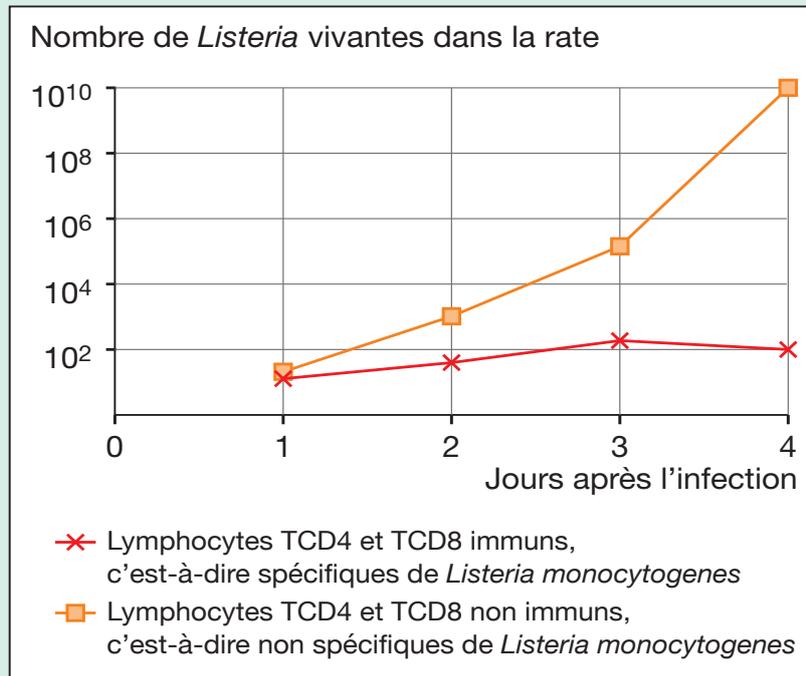
## DOCUMENT 2

### Expériences *in vivo* d'évaluation de la survie de *Listeria monocytogenes* chez la souris

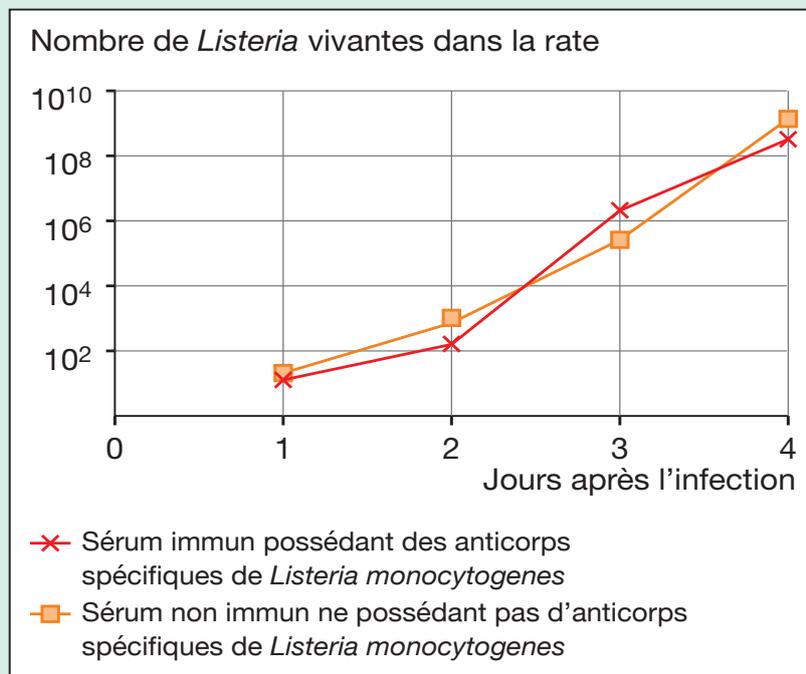
Dans cette expérience, des lymphocytes T (CD4 et CD8) ou du sérum\* ont été prélevés chez une souris ayant précédemment été exposée à une dose non mortelle de *Listeria monocytogenes*, puis transférés à une souris dont le système immunitaire est fonctionnel et n'a jamais été en contact avec l'antigène (souris naïve).

On a ensuite inoculé la bactérie *Listeria monocytogenes* à la souris receveuse du transfert et on a mesuré le nombre de *Listeria monocytogenes* vivantes dans sa rate.

- Le graphe A indique les résultats obtenus après transfert de lymphocytes T à la souris naïve.



- Le graphe B indique les résultats obtenus après transfert de sérum\* à la souris naïve.



D'après *Les bases de l'immunité fondamentale et clinique*,  
 K. Benihoud et P. Bobé pour l'édition française, 2005

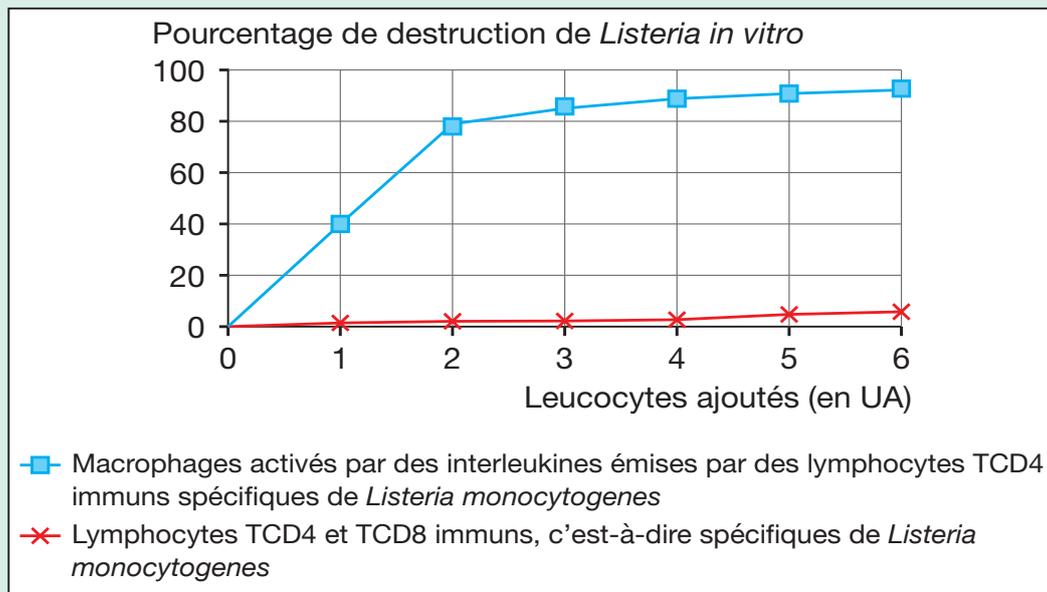
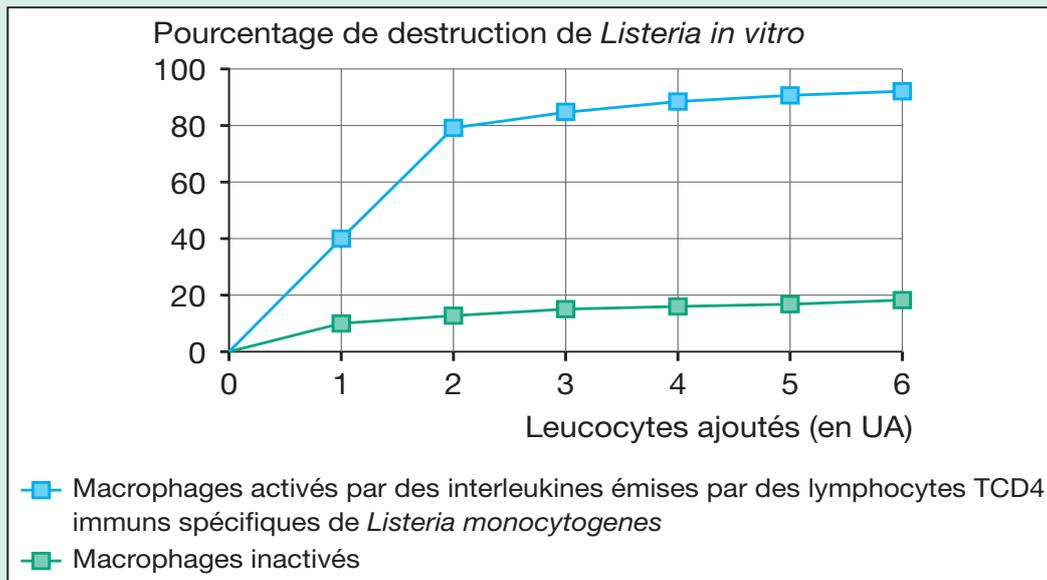
\* Sérum = liquide issu du sang contenant les immunoglobulines et dépourvu de cellules.

DOCUMENT 3

**Expérience *in vitro* d'évaluation de la destruction de *Listeria monocytogenes* chez la souris**

Au cours d'expériences réalisées *in vitro*, des cellules de rate d'une souris préalablement infectée par *Listeria monocytogenes* ont été mises au contact de différents types de cellules immunitaires. Le pourcentage de destruction de la bactérie *Listeria monocytogenes* a alors été évalué dans chaque cas.

Les graphes A et B indiquent les résultats obtenus selon l'ajout des différents types de cellules immunitaires aux cellules infectées.



D'après *Les bases de l'immunité fondamentale et clinique*,  
K. Benihoud et P. Bobé pour l'édition française, 2005

**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Il s'agit d'élucider les mécanismes immunitaires permettant d'empêcher l'infection par une bactérie, la *Listeria*, qui se multiplie dans les cellules de la rate et dans les macrophages, cellules effectrices de l'immunité innée. Pour cela, on utilise la **technique du transfert** de lymphocytes immuns ou de sérum prélevés chez une souris immunisée contre la *Listeria* à une souris naïve que l'on infecte par la bactérie.
- Les **documents 2A et 2B** montrent que seuls les lymphocytes immuns spécifiques de la *Listeria* assurent une protection contre cette bactérie.
- À partir des connaissances, on pourrait penser que les lymphocytes actifs sont des lymphocytes TCD8 cytotoxiques. Le **document 3** montre que ce n'est pas le cas, et qu'en réalité le mécanisme en jeu fait intervenir une collaboration entre les macrophages, cellules de l'immunité innée, et les lymphocytes TCD4 effecteurs spécifiques résultant d'une réaction immunitaire adaptative.

**■ Mobiliser ses connaissances**

Les défenses adaptatives associées avec les défenses innées permettent normalement d'éliminer la cause du déclenchement de la réaction immunitaire.

ENS. SPÉCIFIQUE

**CORRIGÉ 27****Introduction**

La *Listeria* est une bactérie pathogène dont la particularité est de se développer à l'intérieur de cellules (bactérie intracellulaire). Elle parasite notamment des cellules immunitaires : les macrophages (**document 1**).

Nous allons envisager la façon dont une coopération entre des cellules du système immunitaire, lymphocytes et macrophages, contribue à l'élimination de la *Listeria*.



## I. Le type d'immunité efficace contre l'infection par la *Listeria*

- Les expériences du document 2 permettent de savoir si les lymphocytes et (ou) le sérum d'une souris immunisée contre la *Listeria*, transférés à une souris non immunisée, sont capables de protéger cette dernière contre une infection par la *Listeria*.

- Le document 2A montre que l'inoculation de la bactérie à la souris receveuse est suivie d'une augmentation considérable du nombre de bactéries vivantes dans la rate (de  $10^2$  à  $10^{10}$  en 4 jours), et ce bien qu'on ait injecté au préalable des lymphocytes non immuns de la souris donneuse. Les lymphocytes non immuns n'ont donc pas empêché l'infection par la *Listeria* de la souris receveuse. En revanche, l'injection de lymphocytes immuns empêche l'infection de la souris receveuse par la *Listeria* car le nombre de *Listeria* dans la rate reste quasi le même.

### ATTENTION !

Cette expérience suppose qu'on ait isolé, chez la souris donneuse immunisée, les lymphocytes effecteurs immuns des autres lymphocytes.

Les lymphocytes T immuns qui résultent d'une réaction immunitaire adaptative, acquise, sont donc efficaces contre l'infection par la *Listeria*.

- Le document 2B montre que l'injection du sérum immun possédant des anticorps spécifiques des *Listeria* n'empêche pas la multiplication de la bactérie chez la souris receveuse naïve. Les anticorps *anti-Listeria* sont inefficaces : dans la réponse immunitaire à l'infection par la *Listeria*, c'est l'immunité à médiation cellulaire qui est en œuvre et non l'immunité humorale (qui conduit à des anticorps).

## II. Mode d'action des lymphocytes T immuns

- Les données expérimentales du document 3 permettent de savoir comment les lymphocytes T immuns agissent contre l'infection par la *Listeria*, et de préciser quel type de lymphocyte T est actif.

- Le document 3A montre que les macrophages inactivés détruisent très peu de *Listeria* (10 %). Par contre, au bout de 5 jours, 90 % des *Listeria* ont été détruites par des macrophages activés.

L'activation des macrophages paraît donc indispensable à la destruction des *Listeria*.

- Des lymphocytes TCD4 et TCD8 immuns ne détruisent pas les *Listeria* bien qu'ils soient immuns : les lymphocytes T n'ont donc aucune action directe sur les *Listeria* (document 3B).

- L'activation des macrophages est effectuée par l'intermédiaire d'interleukines libérées par les TCD4 immuns spécifiques des *Listeria*.

Les lymphocytes TCD4 détruisent donc les *Listeria*, mais indirectement, par l'intermédiaire des macrophages.

## Bilan

La réponse immunitaire lors d'une infection par la *Listeria* fait intervenir deux types de cellules immunitaires : les **macrophages et les lymphocytes TCD4**.

Chaque type de cellule immunitaire, seul, est inefficace, mais leur **coopération** permet l'élimination des bactéries. Dans un premier temps, les macrophages qui ont phagocyté la bactérie se comportent comme des cellules présentatrices d'antigènes de la *Listeria* par leur CMH aux lymphocytes TCD4 naïfs spécifiques. La réaction immunitaire spécifique qui en résulte aboutit à la production de lymphocytes TCD4, effecteurs spécifiques qui sécrètent des interleukines. Celles-ci activent les macrophages qui détruisent alors toutes les bactéries qu'ils phagocytent.



## Une molécule anti-inflammatoire de nouvelle génération

Le traitement d'affections chroniques comme l'arthrose ou la polyarthrite rhumatoïde conduit souvent à la prescription de médicaments anti-inflammatoires.

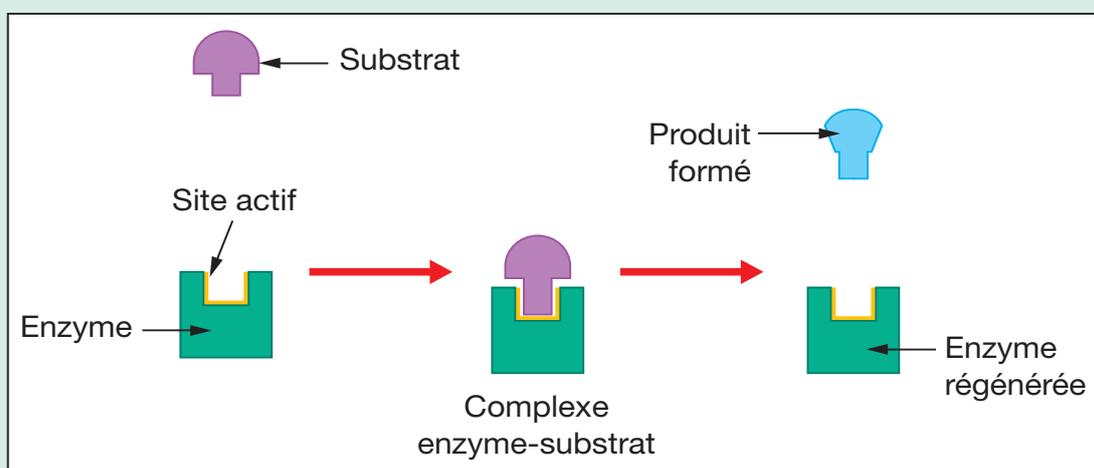
Cependant, la prise régulière d'anti-inflammatoires n'est pas sans conséquence : elle peut conduire à des douleurs gastriques, voire à des lésions sévères telles que des ulcérations ou des perforations de la muqueuse de l'estomac.

Des molécules anti-inflammatoires de deuxième génération comme le célécoxib sont utilisées depuis plusieurs années. L'usage de ces molécules n'exclut pas le risque de complication, mais elles semblent être globalement mieux tolérées par les patients.

► À partir de la mise en relation des informations dégagées des documents et de vos connaissances, expliquez comment le célécoxib présente une action anti-inflammatoire tout en préservant les patients traités de douleurs gastriques.

### DOCUMENT DE RÉFÉRENCE

#### Le modèle de la réaction enzymatique



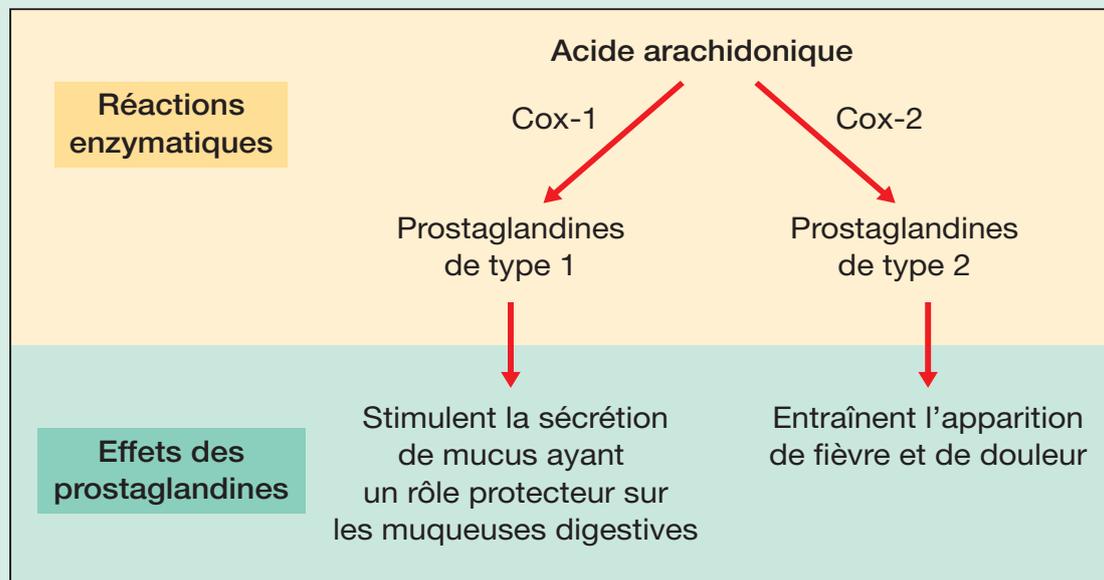
Pour réaliser cette réaction, l'enzyme s'associe avec son substrat au niveau de son site actif. Il se forme alors un complexe « enzyme-substrat ». Cette association permet la transformation du substrat en produit. Ce dernier est libéré, tout comme l'enzyme qui est régénérée.

DOCUMENT 1

**Les enzymes Cox-1 et Cox-2 et la production de prostaglandines**

Les prostaglandines sont des molécules produites lors d'une réaction inflammatoire.

On distingue deux types de prostaglandines qui ont deux types d'effets.



ENS. SPÉCIFIQUE

La production de ces molécules implique l'activité de deux enzymes différentes : la Cox-1 et la Cox-2. Ces deux enzymes ont pour substrat la molécule d'acide arachidonique, mais elles sont à l'origine de deux voies de synthèse différentes.

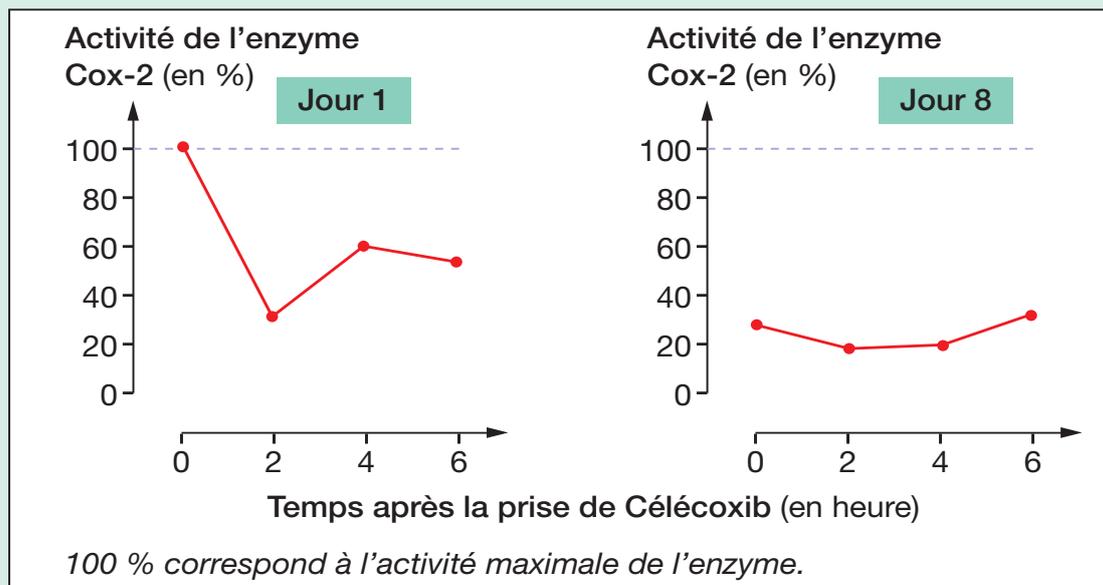
Chaque voie de synthèse conduit à la production d'un type de prostaglandine.

DOCUMENT 2

**Effets de la prise de célécoxib sur l'activité de la Cox-2**

On évalue, par le suivi d'un groupe de sujets volontaires, les effets de la prise quotidienne de célécoxib sur l'activité de l'enzyme Cox-2. Le document ci-après présente les résultats obtenus le 1<sup>er</sup> jour et le 8<sup>e</sup> jour de traitement. L'activité de la Cox-2 est estimée pendant 6 h à partir de la prise du traitement ( $t = 0$  h).





D'après Burkhard Heinz, Harald Dormant, Kay Brune, *Arthritis and rheumatology*, 2005

DOCUMENT 3

**Les interactions moléculaires entre le site actif des enzymes Cox-1 et Cox-2, leur substrat et la molécule de célécoxib**

L'acide arachidonique est capable de se fixer sur les sites actifs des enzymes Cox-1 et Cox-2. Cette interaction rend possible sa transformation.

Les études montrent que le célécoxib est également susceptible de se fixer durablement sur le site actif de l'enzyme Cox-2.

En revanche, cette molécule s'associe très difficilement avec le site actif de l'enzyme Cox-1.

DOCUMENT 4

**Comparaison des effets de l'ibuprofène et du célécoxib sur l'activité des enzymes Cox-1 et Cox-2**

Tout comme le célécoxib, l'ibuprofène est une molécule à effet anti-inflammatoire. Mais l'ibuprofène est un anti-inflammatoire de première génération : son utilisation prolongée peut être à l'origine de troubles gastriques.

On détermine en laboratoire la concentration de molécules anti-inflammatoires nécessaire pour diminuer l'activité des enzymes Cox-1 et Cox-2 de 50 %.

On définit :

- $CI_{50}$  Cox-1, la concentration de molécule anti-inflammatoire permettant de réduire l'activité de l'enzyme Cox-1 de 50 %.
- $CI_{50}$  Cox-2, la concentration de molécule anti-inflammatoire permettant de réduire l'activité de l'enzyme Cox-2 de 50 %.

### Résultats obtenus

	Molécule anti-inflammatoire	
	Ibuprofène	Célécoxib
$CI_{50}$ Cox-1 ( $\mu$ M)	9	9
$CI_{50}$ Cox-2 ( $\mu$ M)	10	0,9

D'après Patrignani, 2015

ENS. SPÉCIFIQUE

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Le libellé du sujet est sans ambiguïté grâce aux informations qui le précèdent. L'ensemble des documents indique que l'effet anti-inflammatoire du célécoxib est lié à son **action réductrice sur la production de prostaglandines de type 2**, et son peu d'effets indésirables sur la muqueuse gastrique est lié à son faible effet sur la production de prostaglandines de type 1.
- Mais l'action du célécoxib sur les prostaglandines n'est pas directe. Elle s'exerce à travers son impact sur l'**activité des enzymes Cox-2 et Cox-1** intervenant dans les voies de synthèse des prostaglandines.
- Le document de référence n'est pas à analyser pour lui-même. Mais les informations qu'il fournit sur les mécanismes d'action des enzymes sont à utiliser pour exploiter les informations du document 3.
- Le document 4 permet de dégager l'**originalité de l'action** du célécoxib par rapport à celle d'un anti-inflammatoire de première génération comme l'ibuprofène et, par là, d'expliquer en conclusion son **action thérapeutique**.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- La réaction inflammatoire est un mécanisme de l'immunité innée. Elle fait suite à l'infection (ou la lésion) d'un tissu et active des molécules à l'origine des symptômes stéréotypés (rougeur, chaleur, gonflement, douleur).
- Contre une réaction inflammatoire chronique, on utilise des médicaments anti-inflammatoires.



**CORRIGÉ 28**

Les anti-inflammatoires classiques comme l'ibuprofène soulagent des douleurs provoquées par une inflammation chronique mais ont aussi des **effets indésirables** notamment sur l'estomac. À partir des informations extraites des documents édités, nous allons voir comment un médicament anti-inflammatoire de deuxième génération comme le **célécoxib**, tout en conservant l'effet anti-inflammatoire, préserve les patients de complications digestives.

### I. Prostaglandines et inflammation (document 1)

- Le document 1 indique que les prostaglandines sont produites lors d'une inflammation à partir d'une même molécule précurseur, l'acide arachidique, mais qu'elles sont synthétisées à la suite de deux voies de synthèse indépendantes, dues à la nature des enzymes qui interviennent.
- L'enzyme Cox-2 intervient dans la synthèse de la prostaglandine de type 2 et l'enzyme Cox-1 dans celle de la prostaglandine de type 1. Suivant ce document, les deux types de prostaglandines sont synthétisés au cours de la réaction inflammatoire, mais elles ont des effets différents.
- La prostaglandine de type 2 entraîne l'apparition de fièvre et de douleur qui sont les **symptômes** d'une inflammation. C'est **une prostaglandine que l'on peut qualifier d'inflammatoire**.
- Contrairement à la prostaglandine de type 2, la prostaglandine de type 1 n'est pas inflammatoire. Elle exerce même un effet bénéfique sur l'estomac en stimulant la production de mucus.

**ATTENTION !**

Il y a d'abord une cause à l'inflammation, comme une lésion tissulaire pour l'arthrose. Cette cause déclenche la synthèse de prostaglandine de type 2, et c'est cela qui entraîne les signes de l'inflammation que sont douleur et fièvre.

### II. Action du célécoxib sur l'activité des enzymes Cox-2 et Cox-1 (documents 2 et 3)

- Le graphique du document 2 révèle que, le premier jour du traitement, l'activité de la Cox-2 est réduite de 70 % au bout de deux heures. Le célécoxib exerce donc une forte inhibition sur l'activité de Cox-2, inhibition toujours présente 6 heures après la prise du médicament mais un peu atténuée (activité de l'enzyme réduite de moitié environ).

- Le huitième jour du traitement, **avant la prise du médicament**, l'activité de l'enzyme est déjà réduite de 70 %. Cela signifie que les comprimés de célécoxib pris quotidiennement pendant les 7 jours précédents ont inhibé de **façon permanente** l'activité de la Cox-2. Comme la Cox-2 est indispensable à la synthèse de prostaglandine de type 2, on peut en déduire que le célécoxib diminue fortement la synthèse de prostaglandine de type 2, molécule inflammatoire.
- Le **document 3** permet de préciser comment le célécoxib exerce une action inhibitrice sur l'activité de la Cox-2. Le **document de référence** indique que, pour exercer une action catalytique, une enzyme doit s'associer à son substrat (réactif) au niveau de son site actif. Dans le cas de la Cox-2, le substrat naturel qui se lie à son site actif est l'acide arachidonique. Or le célécoxib est aussi capable de se lier au site actif de la Cox-2, et cela **durablement**. Puisque la liaison du célécoxib au site actif de la Cox-2 est durable, les molécules enzymatiques Cox-2 qui ont fixé le célécoxib ne peuvent pas fixer leur substrat naturel, l'acide arachidonique, et donc catalyser la réaction qui aboutit à la synthèse de prostaglandines de type 2.
- Le célécoxib s'associe difficilement au site actif de la Cox-1. En conséquence, il **n'inhibe que peu** l'activité enzymatique de la Cox-1 et donc la production de la prostaglandine de type 1.

### III. Comparaison des effets de l'ibuprofène et du célécoxib sur l'activité des enzymes Cox-2 et Cox-1

- La concentration de célécoxib nécessaire pour inhiber de moitié l'activité de la Cox-2 est 10 fois plus faible que celle permettant de réduire de moitié l'activité de la Cox-1. Cela confirme que ce médicament a une **activité inhibitrice beaucoup plus forte sur la Cox-2 que sur la Cox-1**.
- En revanche, les concentrations d'ibuprofène nécessaires pour réduire de 50 % l'activité des deux enzymes Cox-2 et Cox-1 sont très proches. **L'ibuprofène inhibe donc de manière égale l'activité de la Cox-2 et de la Cox-1**.
- La concentration d'ibuprofène nécessaire pour inhiber de moitié l'activité de la Cox-2 est plus de 10 fois plus forte que celle de célécoxib (10  $\mu\text{M}$  contre 0,9  $\mu\text{M}$ ). Cela semble indiquer que le célécoxib est un inhibiteur plus puissant de la Cox-2 que l'ibuprofène. À la concentration de célécoxib de 0,9  $\mu\text{M}$ , l'action de ce médicament sur la Cox-1 doit être très réduite. Le célécoxib peut être qualifié d'**inhibiteur spécifique de la Cox-2**.

## Bilan

- L'ibuprofène, médicament anti-inflammatoire de première génération, inhibe de façon sensiblement égale les activités des deux enzymes Cox-2 et Cox-1. Il en découle qu'il réduit quasiment de la même façon la production de prostaglandines de type 2 et de type 1. La baisse de production de prostaglandines de type 2 a pour conséquence une **diminution des signes de l'inflammation** comme la douleur et la fièvre. La réduction de la production des prostaglandines de type 1 a pour effet une diminution de la production de mucus protecteur de la paroi de l'estomac. **Il peut alors en résulter des effets indésirables.**
- En revanche, à une concentration de  $0,9 \mu\text{M}$ , le célécoxib est un inhibiteur quasi-spécifique de la Cox-2. Le célécoxib comme l'ibuprofène réduisent la production de **prostaglandines de type 2** et donc **amoindrissent les symptômes douloureux de l'inflammation**. Mais comme le célécoxib a peu d'action sur l'activité de l'enzyme Cox-1, il ne **diminue pas la production** des prostaglandines de type 1 et donc celle de **mucus protecteur de l'estomac**.



Afrique • Juin 2018

PRATIQUE DU RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE

Exercice 2 • 5 points

## Le syndrome de LAD : un cas clinique de dysfonctionnement de la réaction inflammatoire aiguë

En 1979, un journal médical britannique publie un article sur le syndrome de LAD, qui présente une association rare de symptômes : chute retardée du cordon ombilical, infections généralisées et défaut de mobilité de certains globules blancs.

► À l'aide des informations tirées des documents et de connaissances, expliquer l'origine des infections généralisées chez les individus atteints de ce syndrome.

ENS. SPÉCIFIQUE

## DOCUMENT 1

**Description du syndrome de LAD**

Les sujets atteints souffrent d'infections bactériennes chroniques qui peuvent être traitées par des antibiotiques, mais qui réapparaissent. Les tissus cutanés infectés ne montrent pas de présence de pus\*.

\* Liquide jaunâtre contenant des granulocytes et des débris cellulaires.



DOCUMENT 2

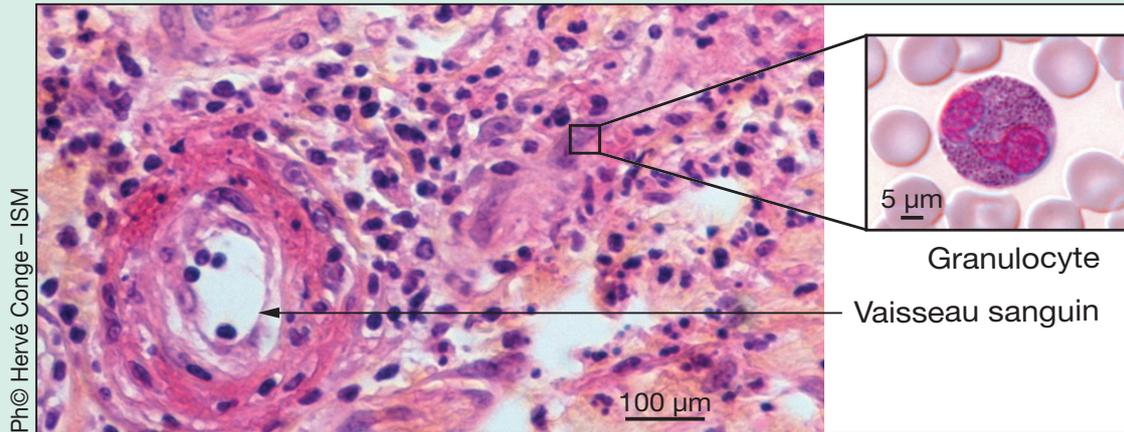
Données cytologiques et sanguines

a. Données chez un individu atteint du syndrome de LAD

Les analyses sanguines indiquent la présence de granulocytes dans le sang des patients.

Cependant, dans les tissus infectés, ces cellules sont absentes.

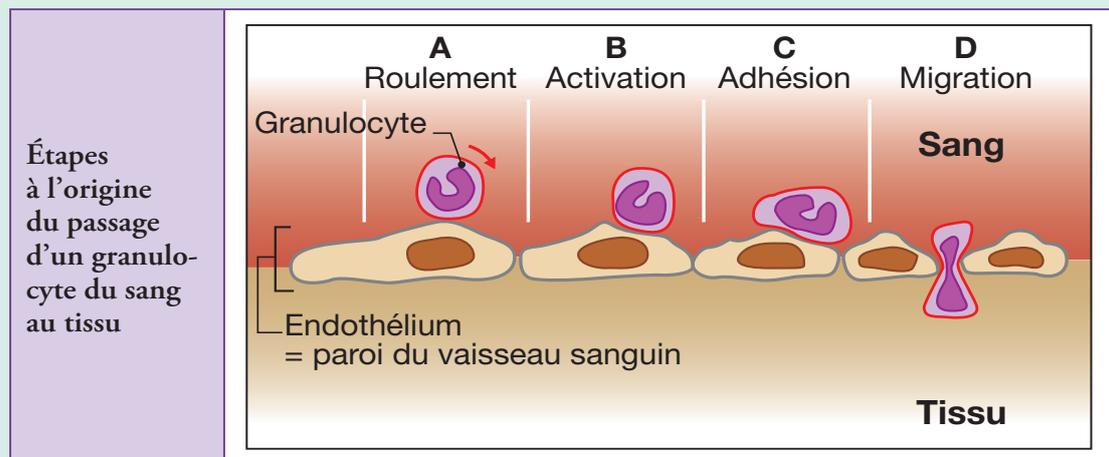
b. Observation au microscope optique d'une coupe de peau infectée d'un individu non atteint du syndrome de LAD 24 h après une coupure



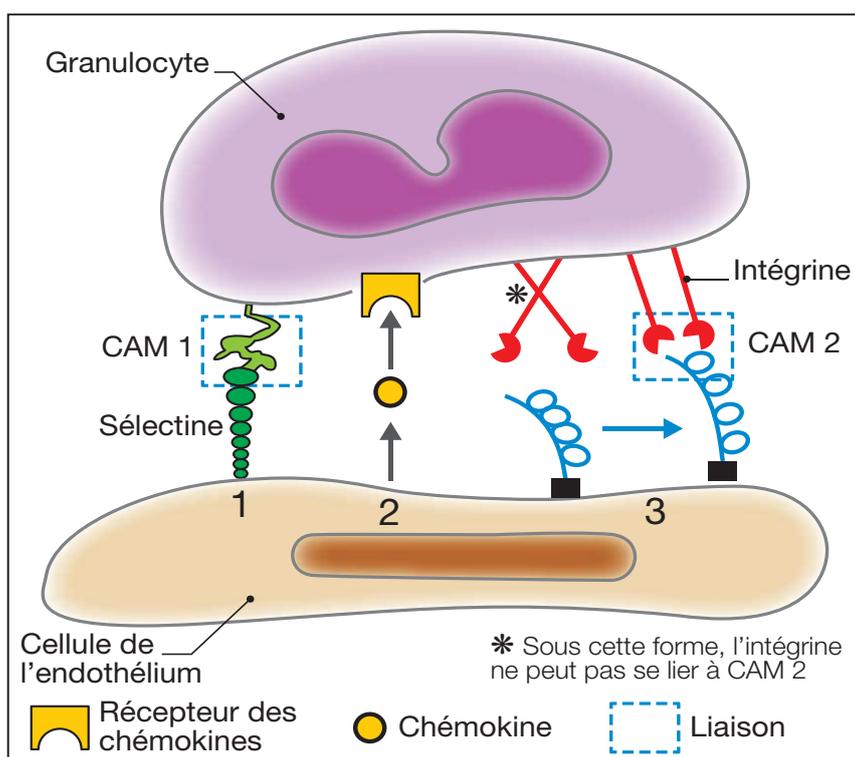
D'après photothèque ENS (modifié)

DOCUMENT 3

Schéma simplifié des étapes et mécanismes nécessaires au passage des granulocytes dans les tissus infectés



Mécanismes moléculaires lors des étapes B et C



La chémokine est une molécule produite par la cellule endothéliale. CAM 1, CAM 2, sélectine et intégrine sont des structures membranaires permettant à des cellules de se lier.

ENS. SPÉCIFIQUE

D'après *Immunologie*, cours de Janis Kuby, figure 15.3, et université de Laval (collection « Mémoires et thèses électroniques », *La réaction inflammatoire*), © Nadia Anceriz, 2008

DOCUMENT 4

**Données sur les intégrines**

Les intégrines sont des protéines qui permettent l'adhésion cellulaire des globules blancs à la paroi des vaisseaux sanguins.

Certains individus atteints du syndrome de LAD présentent des mutations du gène de l'intégrine conduisant à une protéine incomplète.

**LES CLÉS DU SUJET**

■ Comprendre le sujet

- Les documents 1 et 2 permettent d'établir que les infections généralisées caractéristiques du syndrome de LAD sont dues à une anomalie du comportement de cellules de l'immunité innée, les granulocytes.



- Les documents 3 et 4 permettent d'expliquer l'origine de la déficience des granulocytes et d'aboutir à l'idée que le syndrome de LAD est une maladie génétique.
- Attention à bien repérer, sur le schéma du document 3, la succession des étapes (de la gauche vers la droite) du comportement normal des granulocytes afin d'identifier l'étape déficiente dans le syndrome de LAD.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- L'immunité innée est la première à intervenir lors des atteintes des tissus ou d'infections.
- La réaction inflammatoire met en jeu des cellules phagocytaires comme les granulocytes, qui quittent la circulation sanguine pour aller dans le tissu infecté et phagocyter les micro-organismes pathogènes.

## CORRIGÉ 29

### Introduction

Le syndrome de LAD résulte du dysfonctionnement d'un mécanisme de l'immunité innée, la réaction inflammatoire.

Nous allons voir en quoi cette défaillance de l'immunité innée est à l'origine des infections généralisées qui caractérisent ce syndrome.

### I. Une anomalie du comportement des granulocytes

- L'absence de pus dans les tissus cutanés infectés d'une personne atteinte (document 1) indique que les granulocytes ne sont pas présents au niveau de l'infection. Cela est confirmé par le document 2.
- Le document 2b indique, chez une personne non atteinte, la présence de granulocytes au niveau de la coupure 24 h après. Ces granulocytes présents dans le tissu infecté, et remarquables par leur noyau, proviennent du sang et ont traversé la paroi des capillaires.
- Le document 2a indique que chez une personne atteinte du syndrome, les granulocytes sont normalement présents dans le sang. Comme ils sont absents dans le tissu infecté, cela signifie qu'ils sont incapables de quitter les capillaires pour gagner le lieu de l'infection.

C'est donc le passage des granulocytes du sang au tissu infecté qui ne se produit pas chez les personnes atteintes du syndrome de LAD.



## II. Les causes de l'absence de migration des granulocytes (document 3)

- La migration du granulocyte (passage à travers la paroi des capillaires) nécessite son activation, suivie de son adhésion aux cellules de l'endothélium (paroi du vaisseau capillaire).
- La **phase d'activation (1)** débute par une liaison entre une molécule **CAM 1** du granulocyte et une molécule **sélectine** de l'endothélium. C'est cette liaison qui provoque la sécrétion d'une **chémokine** par la cellule endothéliale, molécule qui active le granulocyte en se fixant sur des récepteurs de ce granulocyte (2).
- La **phase d'adhésion (3)** se déroule ensuite ; le granulocyte, activé par la chémokine, modifie la conformation d'une **intégrine** de sa paroi, ce qui lui permet alors de se lier à la molécule **CAM 2** de l'endothélium du vaisseau sanguin. Cela assure l'adhésion du granulocyte à l'endothélium capillaire, préalable nécessaire à la migration du granulocyte du sang vers la région infectée en traversant la paroi du vaisseau.
- La **mutation** du gène de l'intégrine chez certains individus atteints du syndrome de LAD conduit à une intégrine non fonctionnelle, et ne pouvant pas se lier à la protéine CAM 2. L'adhésion ne peut donc plus avoir lieu, et la migration devient impossible.

### ATTENTION !

Le deuxième schéma du document 3 explique les mécanismes moléculaires (étapes 1, 2 et 3) qui permettent l'activation et l'adhésion des granulocytes illustrées dans le premier schéma. La succession des phénomènes, pour les deux schémas, se lit de la gauche vers la droite.

### INFO

On désigne par « diapédèse » le passage du granulocyte à travers la paroi du capillaire. Celui-ci s'insinue entre deux cellules de la paroi du capillaire grâce à sa propriété de mobilité.

## Conclusion

Le syndrome de LAD est une **maladie génétique** qui interdit aux granulocytes de quitter le sang pour gagner les tissus infectés. Les infections sont donc mal maîtrisées et ont tendance à se généraliser.

### INFO

On qualifie le LAD de maladie orpheline (maladie génétique rare).

## Mécanismes nerveux impliqués dans un mouvement volontaire

► Expliquez les mécanismes nerveux aboutissant à un mouvement volontaire, incluant le fonctionnement de la synapse neuromusculaire.

*La réponse prendra la forme d'un texte illustré de schémas.*

### LES CLÉS DU SUJET

#### ■ Comprendre le sujet

- Il s'agit d'un sujet global sur le mouvement involontaire. En effet, en dehors de la demande explicite sur le fonctionnement de la synapse neuromusculaire, le libellé n'en fixe pas précisément les limites. Il est donc judicieux de mettre l'accent sur les notions essentielles.
- Avant d'aborder les mécanismes nerveux de ce type de mouvement, il est nécessaire de préciser les éléments nerveux et musculaires mis en jeu ainsi que leurs connexions ; l'illustration par un schéma est indispensable. On peut se limiter à représenter un seul neurone de chaque type en précisant que des milliers de neurones et de fibres musculaires sont en réalité impliqués dans un mouvement volontaire.
- Veillez à vous limiter aux caractéristiques essentielles des messages nerveux émis par les neurones : l'invariabilité du potentiel d'action et le codage en fréquence du message.
- S'il vous est demandé de développer le fonctionnement de la synapse neuromusculaire, cela ne signifie pas pour autant passer entièrement sous silence le fonctionnement de la synapse interneuronique entre l'axone du neurone pyramidal et le motoneurone. En effet, cela permet d'introduire la conversion du message nerveux électrique en message nerveux chimique. Mais il faut le faire succinctement, puisque les caractéristiques majeures du fonctionnement synaptique se retrouvent dans le fonctionnement de la synapse neuromusculaire. Là encore, un schéma est nécessaire.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- L'exploration du cortex cérébral permet de découvrir les aires motrices spécialisées à l'origine des mouvements volontaires.
- Les messages nerveux moteurs qui partent du cerveau cheminent par des faisceaux de neurones qui descendent dans la moelle épinière jusqu'aux motoneurones.

**CORRIGÉ 30**

ENS. SPÉCIFIQUE

**Introduction**

Un accident vasculaire cérébral peut entraîner une paralysie (incapacité à effectuer des mouvements volontaires) plus ou moins étendue. En cas de paralysie d'origine cérébrale, c'est une région bien définie du cortex, spécialisée dans la motricité volontaire (aire motrice), qui est touchée.

Nous allons étudier les mécanismes par lesquels le cortex moteur déclenche la contraction des muscles effecteurs du mouvement.

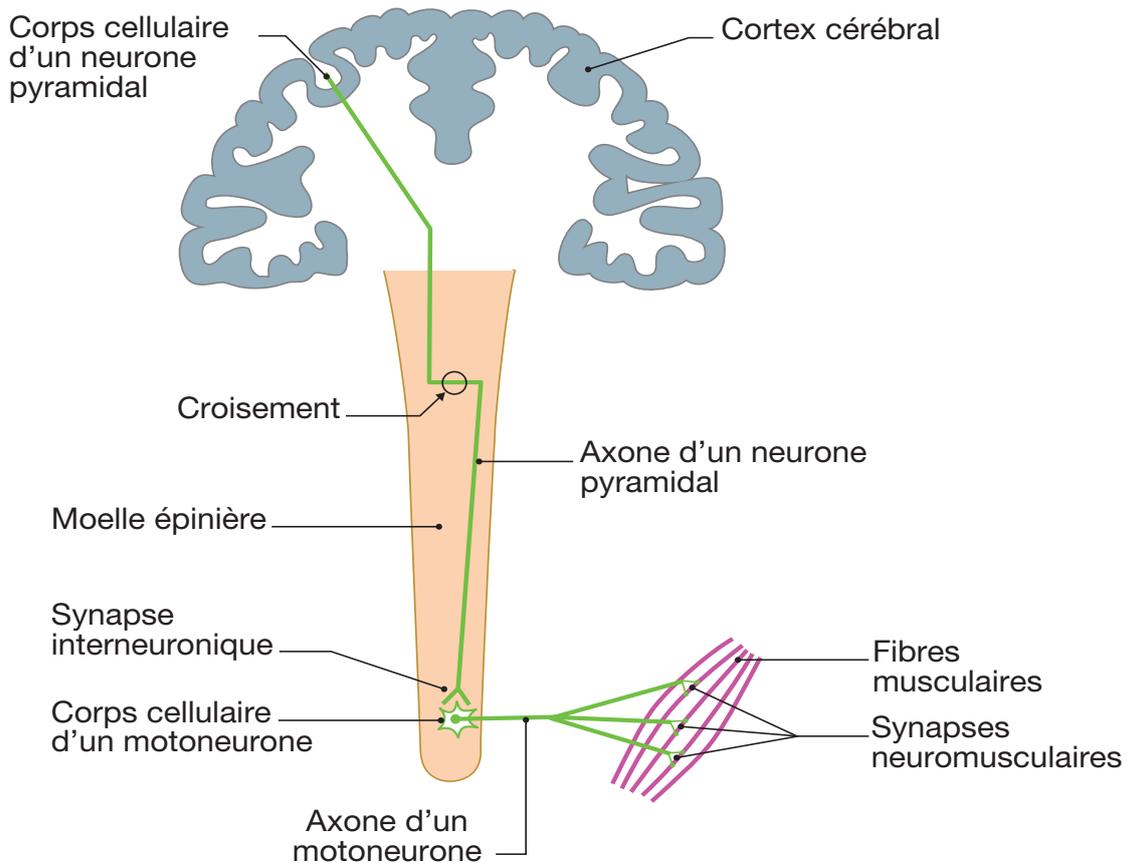
**I. Les éléments impliqués dans un mouvement volontaire**

La figure 1 de la page suivante indique les types de cellules impliquées dans la réalisation de mouvements volontaires :

- les neurones du cortex moteur (neurones pyramidaux) ;
- les motoneurones de la moelle épinière ;
- les fibres musculaires.

Sont également indiqués les lieux de connexion entre ces différents éléments, les synapses interneuroniques et les synapses neuromusculaires.





**Figure 1. Éléments nerveux et musculaires impliqués dans le mouvement volontaire**

Ce schéma ne représente qu'un seul neurone de chaque catégorie alors qu'il s'agit en réalité de populations de neurones.

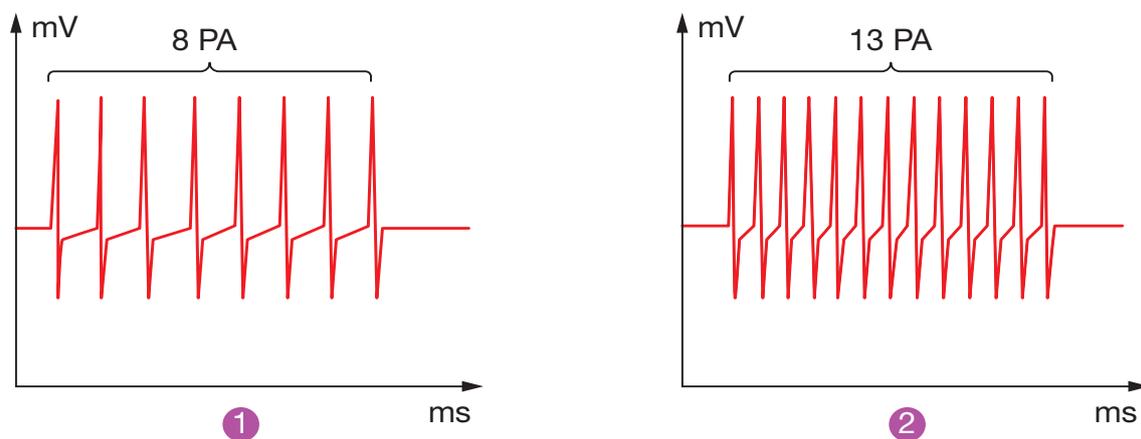
En outre, suivant le mouvement volontaire réalisé, ce sont les neurones d'une zone précise du cortex moteur qui seront en relation avec les motoneurones et les muscles déterminés.

## II. Les messages nerveux impliqués

Les neurones pyramidaux et les motoneurones de la moelle épinière émettent des messages nerveux présentant les mêmes caractéristiques. Ces messages sont véhiculés par les axones de ces neurones jusqu'à la connexion avec un autre élément de la voie motrice volontaire (**synapse interneuronique et synapse neuromusculaire**).

### A. Messages nerveux électriques (figure 2)

- Ces messages sont constitués de trains de **potentiels d'action**. Un potentiel d'action est un signal électrique élémentaire dont **l'amplitude est constante** quelle que soit l'intensité du stimulus, et cette amplitude reste la même tout au long de sa propagation.
- En revanche, **la fréquence des potentiels d'action est variable**.
- Les messages nerveux électriques sont codés en fréquence de potentiels d'action en fonction de l'intensité de la commande par le cortex moteur.



- 1 Message nerveux émis par un neurone pyramidal et parcourant l'axone de ce neurone au cours d'une commande volontaire de faible intensité.
- 2 Message nerveux émis par un neurone pyramidal et parcourant l'axone de ce neurone au cours d'une commande volontaire de plus forte intensité.

Figure 2. Messages nerveux électriques émis au cours d'un mouvement volontaire

### B. L'activation du motoneurone médullaire par les messages nerveux du neurone pyramidal

- Il n'y a pas continuité, mais **contiguïté** entre l'extrémité de l'axone du neurone pyramidal et le corps cellulaire du motoneurone.
- L'arrivée du message nerveux à l'extrémité de l'axone du neurone pyramidal entraîne la libération d'une substance chimique (**neuromédiateur**). Ce neuro-médiateur est le stimulus du motoneurone. Ce dernier répond en émettant alors à son tour un message nerveux de nature électrique. La fréquence des potentiels d'action est d'autant plus élevée que la concentration de neuromédiateur est importante.
- Le message nerveux électrique présynaptique codé en fréquence de potentiels d'action est transmis dans la synapse sous la forme d'un **message chimique codé en concentration de neuromédiateur**. Il entraîne l'émission par le motoneurone d'un message codé en fréquence de potentiels d'action.

### III. Le fonctionnement de la synapse neuromusculaire

- Au niveau de la synapse neuromusculaire (figure 3), il y a également continuité et non-continuité entre l'extrémité de l'axone du motoneurone (région présynaptique) et la fibre musculaire (région postsynaptique).
- La région présynaptique est caractérisée par la présence de **vésicules synaptiques** contenant un neuromédiateur, l'acétylcholine. La région postsynaptique musculaire ne possède pas de vésicules synaptiques, mais la membrane de la fibre musculaire possède des **récepteurs capables de fixer spécifiquement les molécules d'acétylcholine**.
- La succession des événements intervenant dans le fonctionnement de la synapse neuromusculaire est :
  - 1 Arrivée d'un message nerveux de nature électrique
  - 2 Arrimage de vésicules synaptiques sur la membrane présynaptique
  - 3 Exocytose des vésicules synaptiques et libération de l'acétylcholine dans la fente synaptique
  - 4 Fixation des molécules d'acétylcholine sur les récepteurs postsynaptiques
  - 5 Naissance d'un potentiel d'action musculaire à l'origine de la contraction de la fibre musculaire

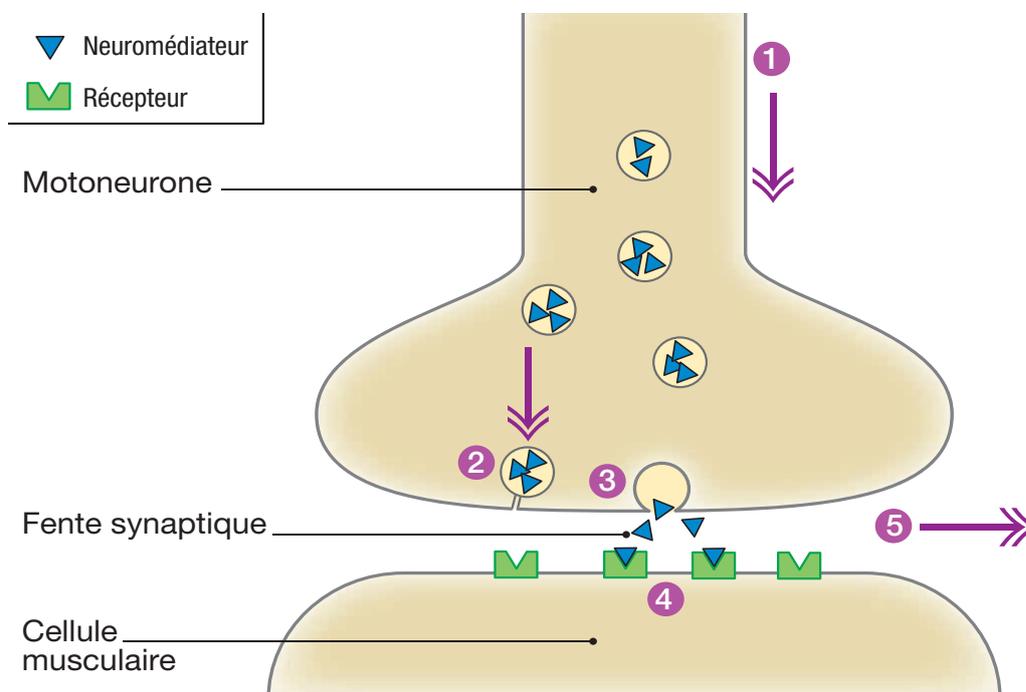


Figure 3. La synapse neuromusculaire

## Conclusion

L'étude a été ciblée sur les mécanismes nerveux fondamentaux aboutissant à un mouvement volontaire. D'autres mécanismes interviennent, en particulier des mécanismes d'intégration au niveau des neurones postsynaptiques (motoneurones).

Cette étude permet aussi de comprendre les diverses causes possibles de perturbation des mouvements volontaires :

- une atteinte de certaines régions du cortex moteur, dont le dysfonctionnement peut être atténué grâce à la plasticité cérébrale ;
- une section de la moelle épinière, interrompant la transmission des messages nerveux des neurones pyramidaux aux motoneurones ;
- des maladies, comme la myasthénie, qui se traduit par une réponse plus ou moins défaillante des fibres musculaires à leur commande motrice à la suite d'un dysfonctionnement des synapses neuromusculaires. Cette défaillance est due à une diminution du nombre des récepteurs membranaires à l'acétylcholine des fibres musculaires (diminution due à une maladie auto-immune).



## Conséquences de la mutation du gène *FUS* sur la motricité

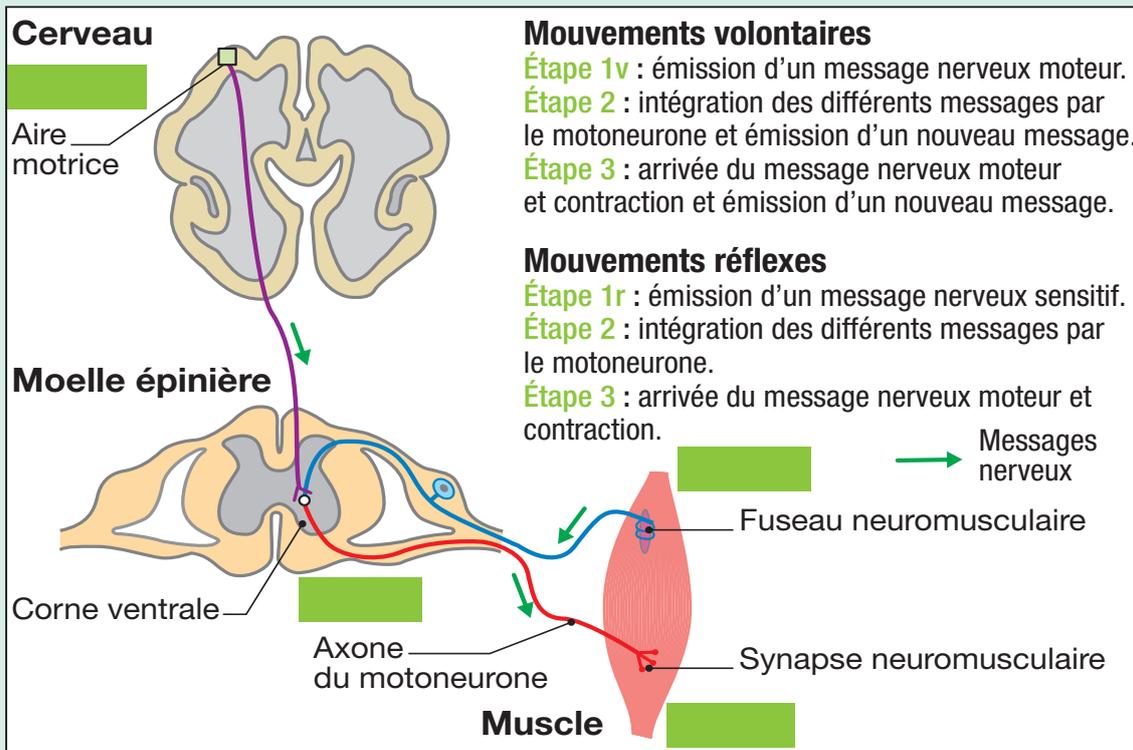
La sclérose latérale amyotrophique est une maladie se manifestant à l'âge adulte. Elle se caractérise par un affaiblissement progressif de la personne et par de multiples paralysies musculaires.

Une mutation du gène *FUS* semble impliquée dans certaines formes de la maladie.

► À partir de l'étude des documents, proposer deux conséquences de la mutation du gène *FUS* chez la souris et une explication possible aux paralysies musculaires observées.

### DOCUMENT DE RÉFÉRENCE

#### Voies nerveuses impliquées dans la réalisation des mouvements

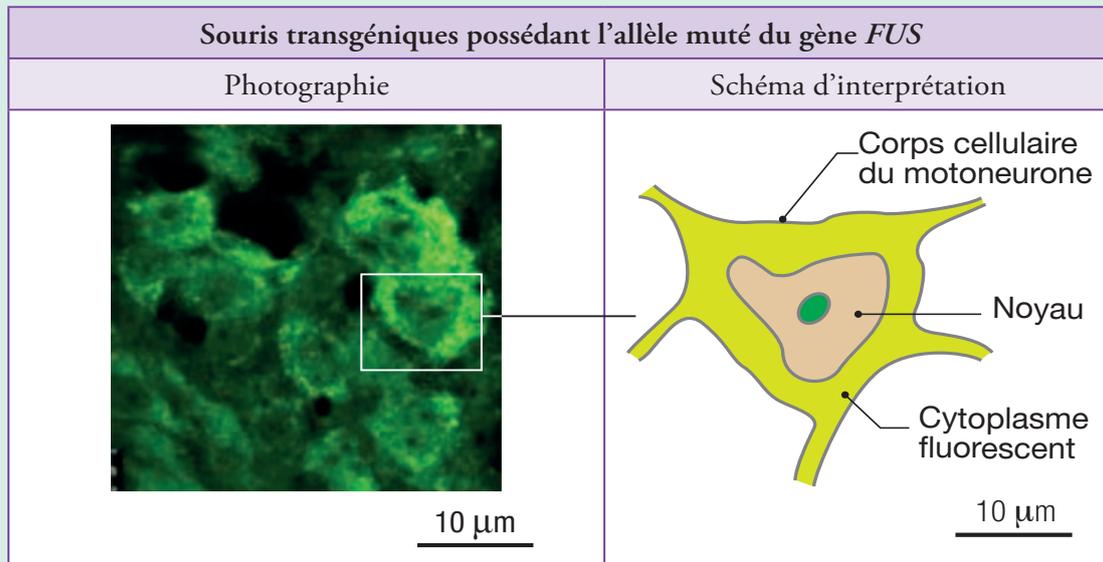
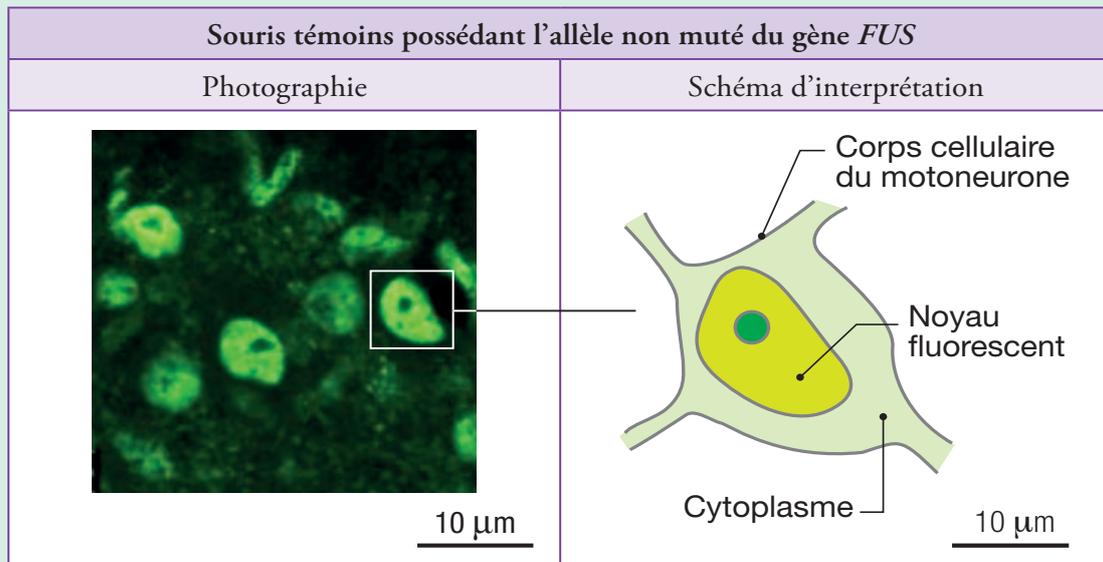


D'après mediactable.fr

**DOCUMENT 1**

**Localisation de la protéine FUS dans la moelle épinière**

Le gène *FUS* a été trouvé chez la souris. Les souris possédant l'allèle muté présentent des problèmes de motricité proches de ceux observés chez les patients atteints de sclérose latérale amyotrophique. Des chercheurs étudient la localisation de la protéine FUS, produit du gène *FUS*, dans les motoneurones de la moelle épinière de souris témoins d'une part et transgéniques d'autre part. La présence de protéine FUS est révélée par fluorescence en microscopie optique.



D'après Scekcic-Zahirovic *et al.*, *The Embo Journal*, 35, 2016

ENS. SPÉCIFIQUE

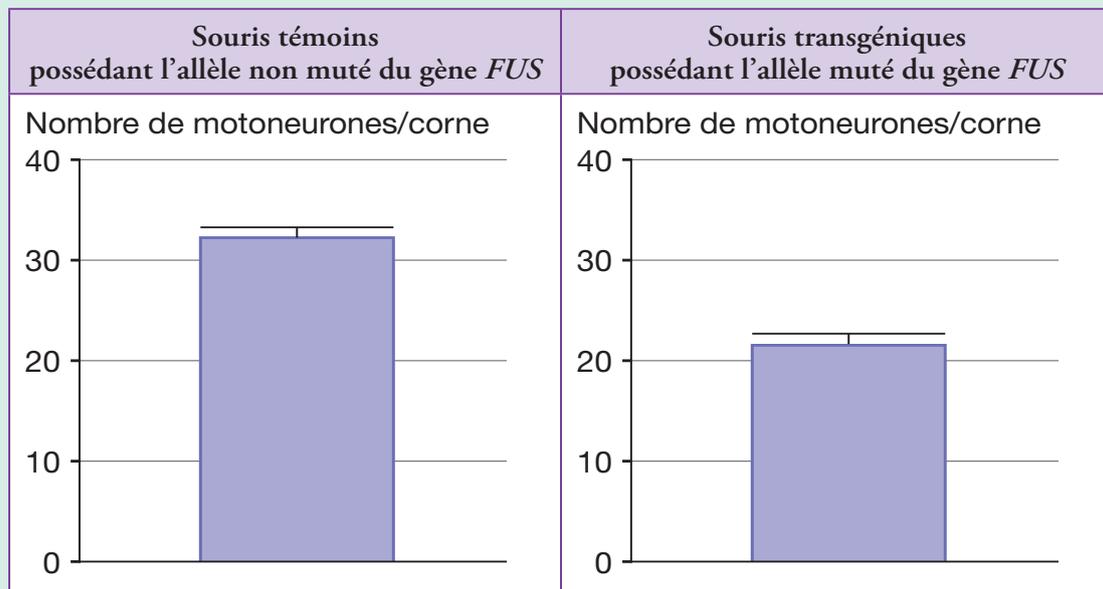
Des études supplémentaires ont montré que la présence de la protéine FUS dans le cytoplasme des motoneurones empêche leur fonctionnement normal en modifiant l'expression de nombreux gènes.

**DOCUMENT 2**

**Étude du nombre de motoneurones dans la moelle épinière**

Les scientifiques ont réalisé un marquage spécifique des motoneurones sur des coupes transversales de moelle épinière de souris témoins et de souris transgéniques possédant l'allèle muté du gène *FUS*. Ils ont ainsi pu compter le nombre de motoneurones présents dans les cornes ventrales de la moelle.

Le document ci-dessous compare le nombre de motoneurones pour une corne ventrale.



D'après Scekic-Zahirovic *et al.*, *The Embo Journal*, 35, 2016

**LES CLÉS DU SUJET**

■ Comprendre le sujet

- Le lien entre les deux conséquences et les documents est immédiat. La première conséquence a trait à la localisation de la protéine FUS dans les motoneurones médullaires (document 1). La deuxième se rapporte à la mortalité des motoneurones (document 2). On peut admettre, à titre d'hypothèse, qu'elle est due à l'accumulation de la protéine FUS dans le cytoplasme des motoneurones.

- Le document de référence n'est pas à exploiter pour lui-même. Il faut l'utiliser uniquement en conclusion, en tant qu'information sur le rôle des motoneurones dans la motricité.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- L'expression d'un gène comporte deux étapes : la transcription de l'ADN en ARNm, qui a lieu dans le noyau, et la traduction de l'ARNm en polypeptide, qui se déroule dans le cytoplasme.
- Des protéines synthétisées dans le cytoplasme passent dans le noyau ; c'est le cas en particulier des protéines qui régulent l'expression d'autres gènes.

## CORRIGÉ 31

### I. Une conséquence d'une mutation du gène *FUS* sur les motoneurones

- Chez la souris témoin possédant un gène fonctionnel, **seul le noyau** du motoneurone est fluorescent, ce qui indique la présence de la **protéine FUS**.
- Chez la souris transgénique, possédant l'allèle muté, le noyau n'est pas fluorescent et seul le cytoplasme l'est. Le gène *FUS* s'exprime donc, mais la protéine résultant de cette expression reste **localisée dans le cytoplasme : la mutation a pour conséquence un changement dans la localisation de la protéine FUS**.
- Une protéine est toujours synthétisée dans le cytoplasme, à la suite de la traduction de l'ARN messager issu de la transcription dans le noyau du gène impliqué.
- Lorsque le gène *FUS* est muté, la protéine synthétisée ne passe pas dans le noyau et reste localisée dans le cytoplasme, contrairement à ce qui se passe avec la protéine non mutée qui, elle, regagne le noyau.
- L'absence de protéine FUS dans son noyau modifie l'expression des gènes du motoneurone, perturbant son fonctionnement normal.

#### INFO

La protéine FUS est sans doute un facteur de transcription.



## II. Une autre conséquence de la mutation du gène *FUS*

- Le document 2 montre que le nombre de motoneurones est diminué du tiers dans la corne ventrale chez la souris transgénique.
- La mutation du gène *FUS* a donc pour conséquence **une diminution du nombre de motoneurones de la moelle épinière**, ce qui traduit **une mortalité des motoneurones**. Une explication possible est que l'accumulation de la protéine *FUS* dans son cytoplasme est toxique pour le motoneurone.

### Conclusion

Cette mutation du gène *FUS* a deux conséquences :

- un **dérèglement du fonctionnement des motoneurones** ;
- une **mortalité importante d'un certain nombre de ces motoneurones**.

Comme l'indique le **document de référence**, le motoneurone constitue la voie finale de commande des muscles lors de mouvements volontaires et de réflexes.

Le dérèglement du fonctionnement des motoneurones, conséquence de l'absence de la protéine *FUS* dans le noyau de ces cellules, peut perturber l'émission de messages nerveux moteurs vers les muscles et donc la contraction de ces muscles. La dégénérescence des motoneurones, sans doute due à l'accumulation de la protéine *FUS* dans le cytoplasme, fait que des fibres musculaires ne sont plus innervées. Lorsque cette destruction s'accroît, les muscles ne peuvent plus se contracter, ce qui entraîne des paralysies.

## Étude d'un dysfonctionnement synaptique

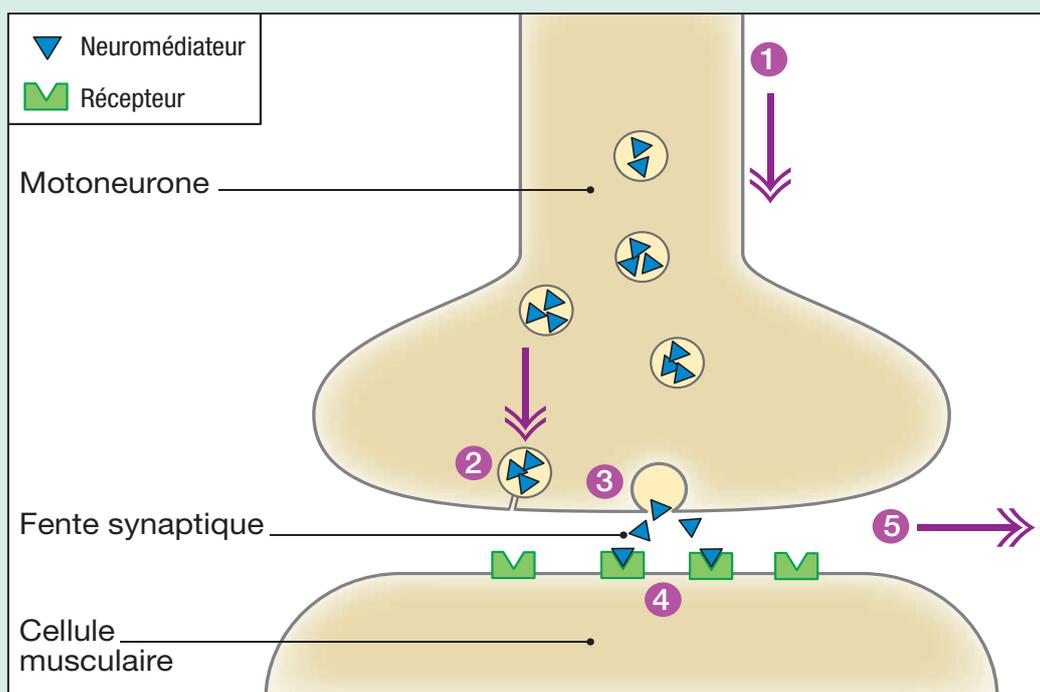
*Caenorhabditis elegans* est un petit ver nématode dont le système nerveux, formé de 302 neurones et 7 000 synapses, est bien connu. Il constitue un animal modèle pour étudier le fonctionnement de la synapse neuromusculaire.

Des études de la synapse sont réalisées sur des vers portant une mutation au niveau du gène *unc-13* et présentant une paralysie complète des muscles.

► À partir des informations extraites des documents et de vos connaissances, expliquez la paralysie des mutants *unc-13* et le rôle possible de la protéine codée par le gène *unc-13* chez le ver sauvage.

### DOCUMENT DE RÉFÉRENCE

#### Les grandes étapes du fonctionnement synaptique



- Étape ❶ : arrivée d'un message nerveux de nature électrique.  
 Étape ❷ : arrimage des vésicules synaptiques sur la membrane pré-synaptique. Cet arrimage nécessite la participation de nombreuses protéines.  
 Étape ❸ : exocytose des vésicules nécessitant la participation de nombreuses protéines.  
 Étape ❹ : Fixation du neuromédiateur sur les récepteurs postsynaptiques.  
 Étape ❺ : naissance d'un potentiel d'action musculaire qui provoquera la contraction.

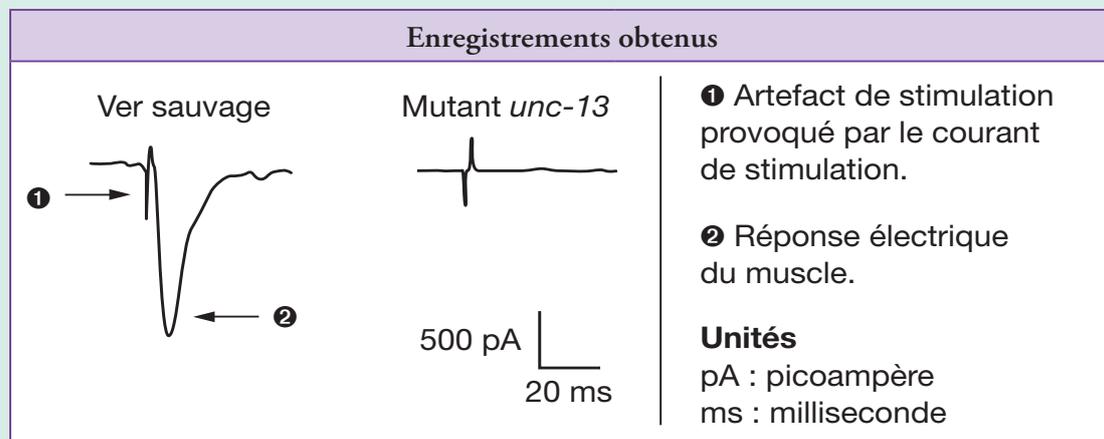
**DOCUMENT 1**

**Résultats de la stimulation de motoneurones chez un ver sauvage et un ver mutant *unc-13***

**Dispositif expérimental**

Il permet :

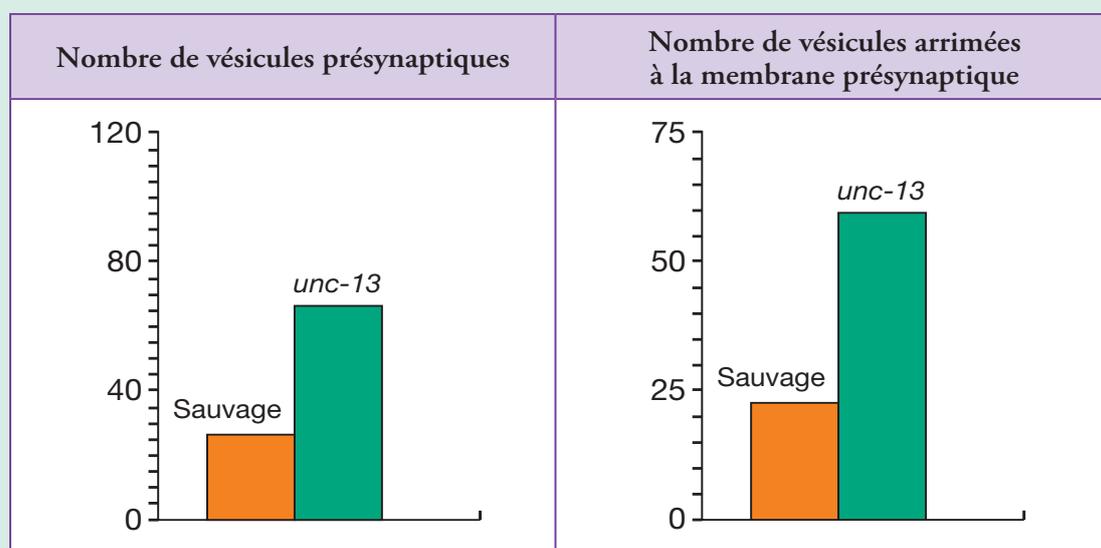
- de stimuler électriquement les motoneurones qui innervent le muscle ;
- d'enregistrer des phénomènes électriques au niveau du muscle.



D'après Gracheva E. O *et al.*, *J. Physiol*, 2007  
 et Christelle C., Bessereau J.C., *Médecine Sciences*, 2003

DOCUMENT 2

**Nombre de vésicules dans les terminaisons synaptiques après stimulation des motoneurons**



D'après Richmond J.E. *et al.*, *Nature America Inc.*, 1999

ENS. SPÉCIFIQUE

DOCUMENT 3

**Contenu des vésicules présynaptiques et réponse électrique du muscle lors de l'injection de nicotine dans la fente synaptique chez le ver sauvage et le ver mutant *unc-13***

	Ver sauvage	Ver mutant <i>unc-13</i>
Contenu des vésicules présynaptiques	Acétylcholine	Acétylcholine
Injection de nicotine* dans la fente synaptique	Contraction de la cellule musculaire	Contraction de la cellule musculaire

D'après Boulin T. *et al.*, 2008

\* La nicotine est une molécule ayant une structure tridimensionnelle proche de celle de l'acétylcholine.



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Il s'agit d'abord de montrer que la **paralysie** d'un ver mutant est due à un **dysfonctionnement** des synapses neuromusculaires chez ce ver.
- Ensuite, vous devez rechercher l'origine de ce dysfonctionnement. Le document de référence permet d'imaginer plusieurs hypothèses explicatives.
- Puis, vous devez déterminer les hypothèses testées dans chaque document. Dans votre exposé, il est préférable de commencer par les hypothèses **réfutées**. Par exemple, le document 3 permet de conclure que le versant postsynaptique de la synapse fonctionne bien et que la synthèse du neuromédiateur est normale.
- Enfin, vous devez localiser l'origine du dysfonctionnement, ce qui vous permet de proposer une hypothèse concernant le rôle de la protéine codée par le gène *unc-13*.

**■ Mobiliser ses connaissances**

La commande de la contraction de la fibre musculaire met en jeu le fonctionnement de la synapse neuromusculaire. Les connaissances sur ce fonctionnement sont fournies dans le document de référence.

**CORRIGÉ 32**

Le mutant *unc-13* est paralysé. L'introduction du sujet indique que cette paralysie serait due à un **dysfonctionnement de la synapse neuromusculaire**.

À l'aide des documents proposés, nous allons tester cette hypothèse et préciser le rôle possible de la protéine codée par le gène *unc-13*.

**I. Le dysfonctionnement de la synapse neuromusculaire (document 1)**

- La stimulation des motoneurons d'un ver sauvage entraîne une réponse électrique des fibres musculaires qu'ils innervent. Cette réponse électrique témoigne de la naissance d'un **potentiel d'action musculaire** et donc du fonctionnement normal de la synapse neuromusculaire.

**Remarque**

Dans le document 1, ce ne sont pas des potentiels d'action musculaires qui sont enregistrés, mais l'existence de courants dont l'intensité est exprimée en picoampère et qui sont à l'origine du potentiel d'action, dont l'intensité s'exprime en millivolt.



- La stimulation des motoneurones du mutant n'entraîne **aucune réponse des fibres musculaires correspondantes**.
- Si l'on admet que les motoneurones du mutant fonctionnent normalement, cela signifie que, chez lui, **les synapses neuromusculaires ne fonctionnent pas**. L'origine de ce dysfonctionnement doit être en lien avec le gène *unc-13*.

**Remarque**

Le terme « muscle » est employé dans le libellé du sujet. C'est une simplification de langage ; il s'agit d'un enregistrement au niveau d'une fibre musculaire.

## II. Le fonctionnement de la région postsynaptique chez le mutant *unc-13* (document 3)

- Chez le ver sauvage, l'injection de nicotine dans la fente synaptique provoque la contraction de la fibre musculaire, comme le neuromédiateur naturel, **l'acétylcholine**. En raison de sa structure tridimensionnelle voisine de l'acétylcholine, la nicotine se fixe sur les récepteurs à l'acétylcholine de la fibre musculaire (document de référence) et la contraction de la fibre musculaire est le témoin du bon fonctionnement de la synapse neuromusculaire.
- Chez le ver mutant, la nicotine a les mêmes effets que chez le ver sauvage. Cela permet de conclure que le fonctionnement de la synapse au **niveau postsynaptique chez le mutant est normal**. Le dysfonctionnement de la synapse neuromusculaire chez le mutant se situe donc **au niveau présynaptique**.

## III. Le dysfonctionnement de l'élément présynaptique (document 2)

- Chez le ver mutant comme chez le ver sauvage, il existe des vésicules localisées dans la région présynaptique de l'axone du motoneurone et contenant de l'acétylcholine. Le dysfonctionnement ne réside donc **pas dans un défaut de synthèse de l'acétylcholine**.
- À la suite de la stimulation du neurone, le nombre de vésicules présynaptiques est plus de deux fois plus important chez le mutant que chez le sauvage. Comme le fonctionnement de la synapse implique l'exocytose des vésicules, et donc la **diminution de leur nombre** (document de référence), on peut supposer que cette exocytose a été beaucoup plus faible chez le mutant que chez le sauvage. Cette exocytose libérant l'acétylcholine dans la fente synaptique, cela entraîne une **libération insuffisante de ce neuromédiateur** dans la fente synaptique, et ainsi un non-fonctionnement de la synapse.



#### IV. Bilan : le rôle de la protéine codée par le gène *unc-3*

- L'exocytose se déroule en deux grandes étapes :
  - arrimage des vésicules synaptiques sur la membrane présynaptique ;
  - exocytose (au sens strict) impliquant la fusion de la membrane des vésicules avec la membrane plasmique.
- Le document 2 indique qu'après **stimulation du motoneurone**, le nombre de vésicules arrimées à la membrane présynaptique est nettement supérieur chez le mutant par rapport au ver sauvage (60 contre 25 environ) et représente 75 % du nombre total de vésicules. L'arrimage fonctionne et, en conséquence, **la protéine *unc-3* n'intervient pas dans l'arrimage**.
- C'est donc l'exocytose au sens strict qui est déficiente chez le mutant : le gène *unc-3* doit coder pour l'une des protéines membranaires intervenant dans ce processus (document de référence). L'allèle muté du gène semble coder pour une protéine **non fonctionnelle** ne permettant pas la **fusion** des membranes des vésicules avec la membrane plasmique, ce qui empêche l'exocytose.



## Mécanismes de résistance au froid du chou puant

► À partir des informations extraites des documents et des connaissances, expliquer comment le chou puant peut résister à des froids extrêmes.

## DOCUMENT 1

### Le symplocarpe fétide, une plante singulière



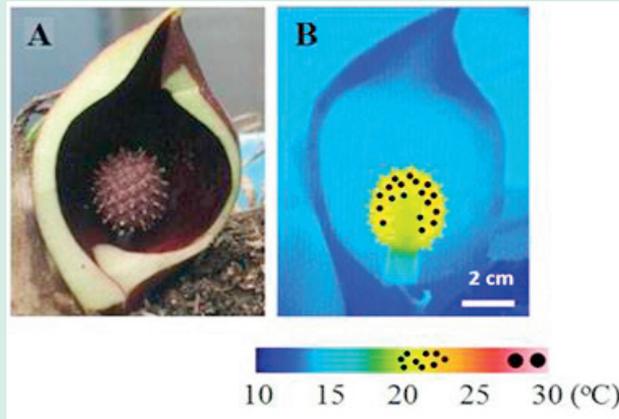
ph © Science Photo Library/David Cavagnaro, Visuals unlimited/Biosphoto

SPÉCIALITÉ

#### Partie reproductrice du symplocarpe fétide perçant la neige

Le symplocarpe fétide ou chou puant est une plante sauvage de la famille des Aracées qui apparaît dès la fin de l'hiver au Canada dans des bois encore enneigés.

Sa partie reproductrice, parvenue à maturité, forme alors une masse rouge-violet à l'odeur nauséabonde.



© Scientific American, 2012.

A : spathe coupée avec, au centre, l'inflorescence ou spadice visible.  
 B : image thermique de l'échantillon A, produite par une caméra thermique.

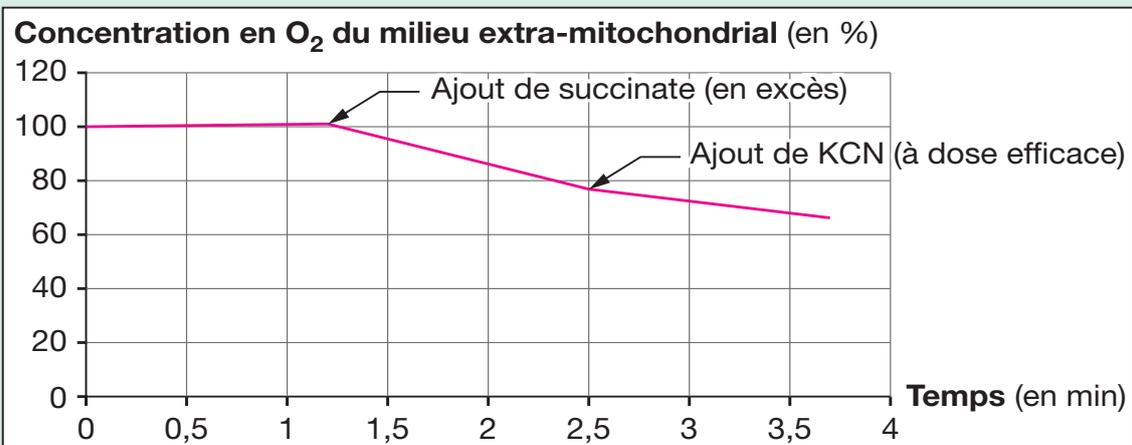
D'après le site fleursduquebec.com et le dossier  
*Pour la Science*, octobre-décembre 2012

**DOCUMENT 2**

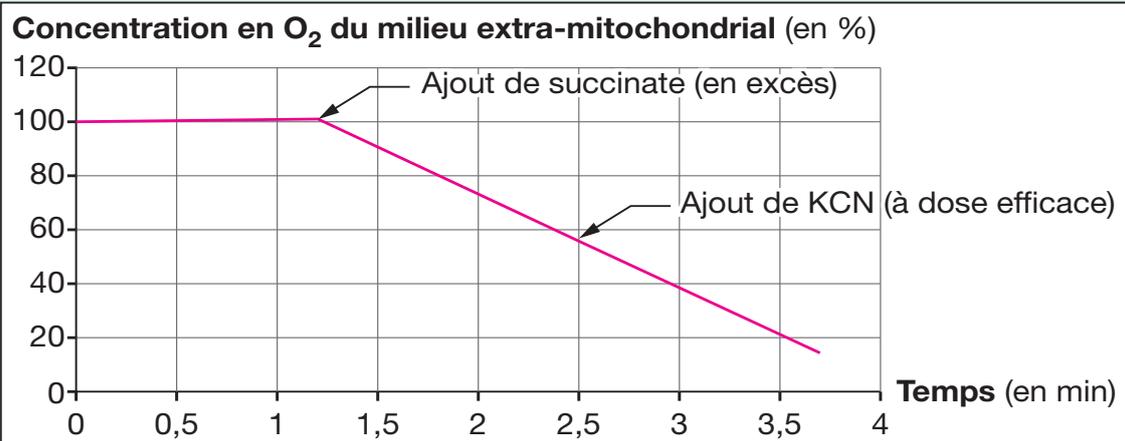
### Évolution de la concentration en dioxygène de suspensions de mitochondries

On suit l'évolution de la concentration en dioxygène de deux suspensions de mitochondries initialement dépourvues de substrat respiratoire. La suspension A est issue de cellules de la spathe ; la suspension B est issue de cellules du spadice.

On teste sur ces suspensions les effets d'un ajout successif de différentes substances : du succinate, molécule organique dont l'oxydation au cours du cycle de Krebs est couplée à la production de composés réduits ( $R'H_2$ ) ; du cyanure de potassium (KCN), molécule capable d'inhiber l'enzyme cytochrome c oxydase de la chaîne mitochondriale.



**Évolution de la concentration en dioxygène de la suspension A, référence, selon l'ajout de différentes substances**



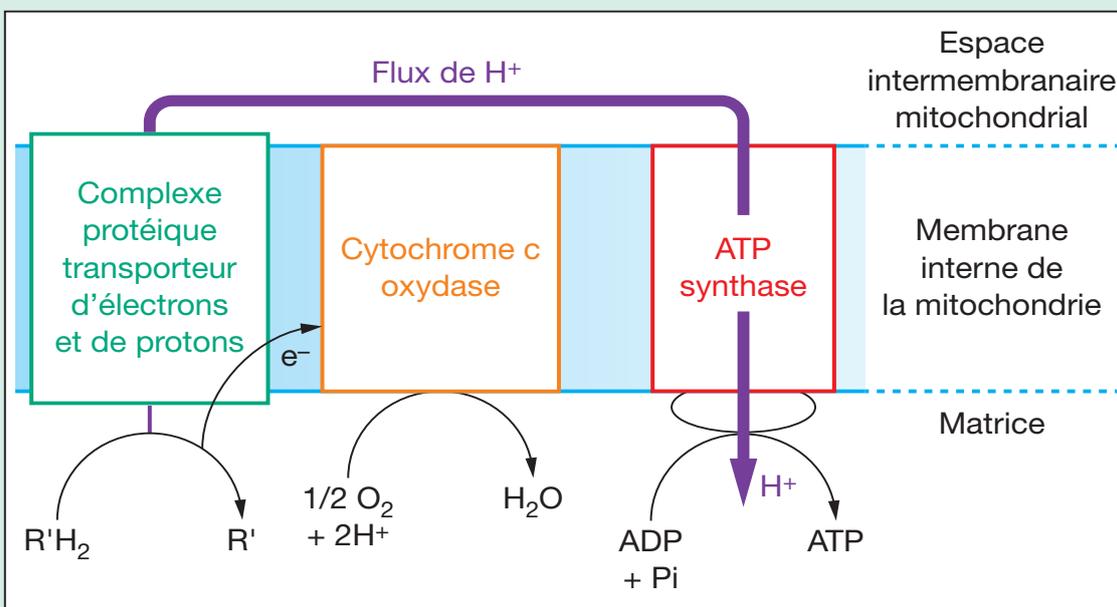
**Évolution de la concentration en dioxygène de la suspension B selon l'ajout de différentes substances**

D'après le site SVT de Jean-Jacques Auclair

**DOCUMENT 3**

**Deux chaînes respiratoires chez les plantes**

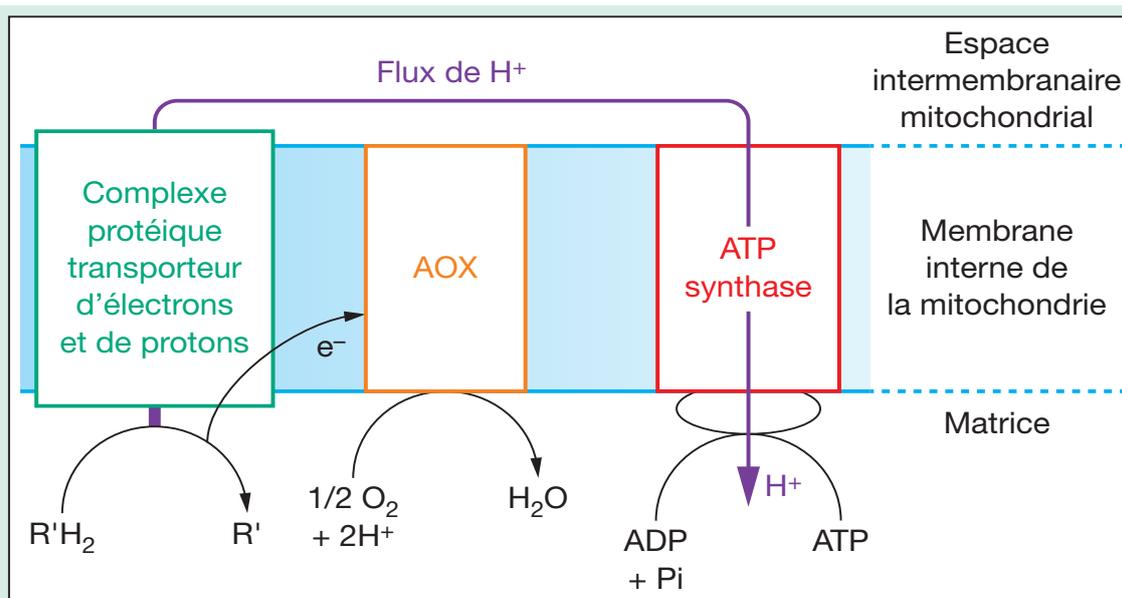
La cytochrome c oxydase et l'oxydase alternative (AOX) sont des accepteurs d'électrons de chaînes respiratoires intervenant dans la réduction du dioxygène en molécule d'eau.



**Chaîne respiratoire à cytochrome c oxydase**

SPÉCIALITÉ





### Chaîne respiratoire à oxydase alternative (AOX)

L'épaisseur de la flèche traduit l'intensité du flux de protons ( $H^+$ ).

#### DOCUMENT 4

### Couplage énergétique de deux chaînes respiratoires différentes

Type de chaîne respiratoire	Production d'énergie sous forme ATP	Production d'énergie sous forme de chaleur
Chaîne respiratoire avec la protéine cytochrome c oxydase exprimée	+++++	faible
Chaîne respiratoire avec la protéine AOX (oxydase alternative) exprimée	+	forte

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Il faut expliquer le processus par lequel l'organe reproducteur de cette plante a une température nettement plus élevée que celle de la spathe qui l'entoure, et encore plus que celle du milieu extérieur. La température d'un organe végétal dépend de sa production de chaleur de sorte qu'il faut, en exploitant les documents, rechercher l'origine de la forte production de chaleur du spadice.



- Il faut penser au fait que la chaleur est produite par les mécanismes de la respiration cellulaire. Ce n'est pas une forme d'énergie utilisable pour les activités cellulaires, mais elle contribue à la température de l'organe.
- Il faut alors rechercher les caractéristiques de la respiration des mitochondries des cellules du spadice expliquant cette forte production de chaleur.
- C'est la comparaison entre les cellules de la spathe et du spadice qui permet de dégager les spécificités des cellules du spadice.

#### ■ Mobiliser ses connaissances

- Les mitochondries jouent un rôle majeur dans la respiration cellulaire.
- La chaîne respiratoire mitochondriale permet l'oxydation des composés réduits  $RH_2$ , produits par le cycle de Krebs, associée à la réduction du dioxygène en eau. Ces réactions d'oxydo-réduction s'accompagnent de la production d'ATP, qui permet les activités cellulaires, et de chaleur.

## CORRIGÉ 33

SPÉCIALITÉ

### Introduction

Au Canada, le chou puant fleurit à la fin de l'hiver alors que la température extérieure est encore très basse ( $-15\text{ °C}$ ). Nous allons envisager les mécanismes qui permettent à cette plante d'avoir une vie active malgré la température extrêmement basse.

### I. La température au niveau de la partie reproductrice (document 1)

- Cette température est un peu supérieure à  $20\text{ °C}$  au niveau de l'inflorescence, ou spadice, et supérieure à  $10\text{ °C}$  au niveau de la spathe entourant l'inflorescence. La température extérieure étant de  $-15\text{ °C}$ , l'inflorescence présente donc une température très nettement supérieure à celle de son environnement.
- Cette température élevée ne peut s'expliquer que si l'inflorescence produit de la chaleur, surtout au niveau du spadice.



## II. La respiration mitochondriale au niveau du spadice et de la spathe (documents 2 et 3)

- Pendant la première minute (document 2), la concentration en dioxygène du milieu extra-mitochondrial reste constante en A et B : les mitochondries de la spathe (A) et du spadice (B) ne respirent pas. Cela est lié au fait que la suspension ne contient pas de substrat respiratoire.

- Lorsque l'on ajoute un substrat respiratoire, le succinate, il y a baisse de la concentration en dioxygène du milieu. Cette baisse, au bout de 2,5 minutes, est plus importante en B (de 100 à 60 %) qu'en A (de 100 à 80 %).

Les mitochondries de la spathe et du spadice respirent donc, et plus intensément pour celles du spadice que pour celles de la spathe.

- L'ajout de cyanure ne modifie en rien la respiration des mitochondries des cellules du spadice ; en revanche, elle provoque une inhibition de la respiration des mitochondries des cellules de la spathe, inhibition qui n'est cependant pas totale. Le cyanure inhibe l'enzyme cytochrome C oxydase de la chaîne respiratoire des mitochondries. L'absence d'action du cyanure sur la respiration des mitochondries du spadice laisse supposer que la cytochrome oxydase

n'est pas en jeu dans le fonctionnement des chaînes respiratoires des mitochondries du spadice, contrairement aux mitochondries de la spathe.

- Le document 3 confirme cette conclusion, car le schéma montre qu'il existe deux chaînes respiratoires mitochondriales chez le chou puant, l'une faisant intervenir la cytochrome c oxydase, l'autre l'enzyme AOX. La chaîne à AOX est fonctionnelle dans les mitochondries des cellules du spadice, alors que la chaîne à cytochrome c oxydase l'est dans les mitochondries des cellules de la spathe.

### DÉFINITION

Inhibition : blocage ou forte diminution de l'intensité d'un phénomène biologique (ici la respiration mitochondriale) sous l'influence d'un facteur externe (ici, le cyanure).

### INFO

Ces chaînes réalisent toutes deux l'oxydation des composés R'H<sub>2</sub> fournis par le cycle de Krebs, avec comme accepteur final de protons et d'électrons le dioxygène. Elles diffèrent énergétiquement dans la conversion de l'énergie des composés réduits en ATP.

### III. La conversion énergétique dans les cellules de la spathe et du spadice (document 3 et 4)

- Dans les mitochondries de la spathe, l'énergie chimique des transporteurs réduits  $\text{RH}_2$  est convertie en énergie chimique de l'ATP. Le flux de protons est très important (flèche épaisse), ce qui amène l'enzyme ATP synthase à assurer une synthèse de beaucoup d'ATP.
- Dans les mitochondries des cellules du spadice, le flux de protons est beaucoup plus faible (flèche fine) et entraîne donc la synthèse de peu de molécules d'ATP.
- Le document 4 confirme que le fonctionnement de la chaîne respiratoire des mitochondries de la spathe produit beaucoup d'ATP, et que celui des mitochondries du spadice en fournit très peu : l'énergie des transporteurs réduits est surtout convertie en chaleur dans les mitochondries du spadice.

#### Bilan

La température élevée du spadice malgré la faible température externe est due au fait que, dans les mitochondries des cellules du spadice, contrairement à ce qui existe habituellement, ce sont des chaînes respiratoires à AOX et non à cytochrome c oxydase qui sont fonctionnelles. Ces chaînes respiratoires assurent une faible conversion de l'énergie des substrats respiratoires en ATP, de sorte que l'énergie libérée par la respiration des cellules se retrouve sous forme de chaleur. En outre, ces chaînes respiratoires permettent une respiration plus intense, ce qui accroît la production de chaleur. Les cellules de la spathe ont une respiration « normale » et produisent un peu de chaleur, mais moins que les cellules du spadice, d'où leur température plus faible.



## Une photosynthèse particulière chez le puceron orange

Il existe différents phénotypes de pucerons, parmi lesquels on trouve les pucerons blancs et les pucerons orange.

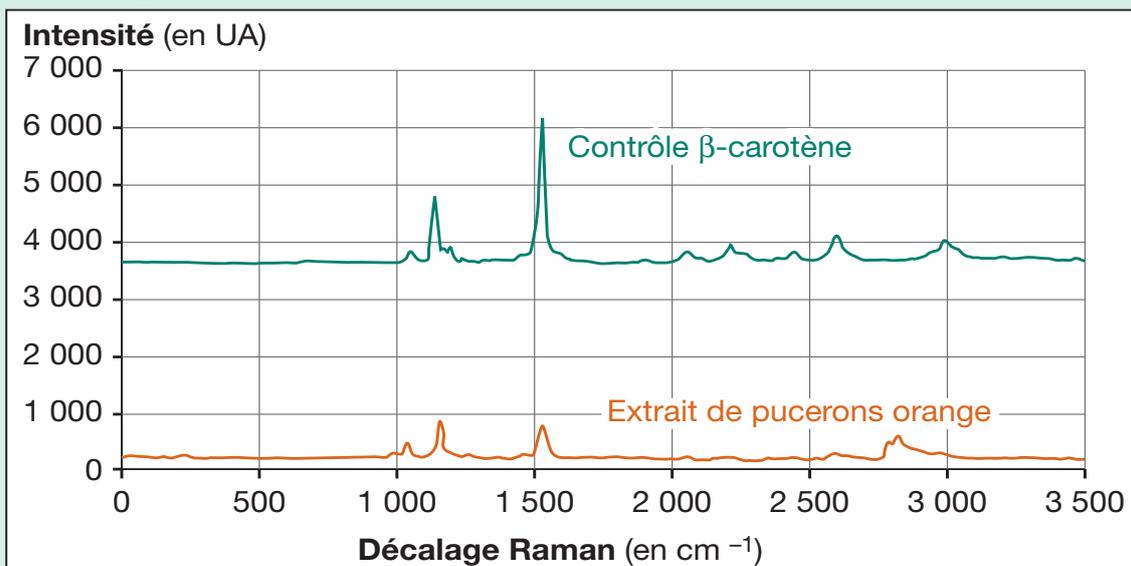
► À partir des documents et de vos connaissances, montrer que les pucerons orange réalisent une photosynthèse particulière à l'origine d'une production d'ATP dans les mitochondries.

## DOCUMENT 1

### Recherche de $\beta$ -carotène chez les pucerons orange

Des pucerons orange adultes sont broyés dans un tampon phosphate salin. On obtient alors une formation spontanée de cristaux orange, que l'on étudie par spectrométrie Raman. Cette technique permet d'identifier la nature de certaines liaisons entre les atomes.

Un contrôle est également réalisé avec du  $\beta$ -carotène pur. Les pics obtenus à 1 550, 1 150 et 1 005  $\text{cm}^{-1}$  correspondent respectivement à la mise en évidence de liaisons de type C=C, CH-CH et CH-CH<sub>3</sub> de ce pigment.



D'après A. Robichon *et al.*, *Nature*, 2012

## DOCUMENT 2

**Évaluation du pouvoir réducteur du  $\beta$ -carotène des pucerons orange**

Le  $\beta$ -carotène est un pigment également fabriqué par les plantes. On le trouve dans les chloroplastes, où il intervient dans la captation d'énergie lumineuse durant la photosynthèse.

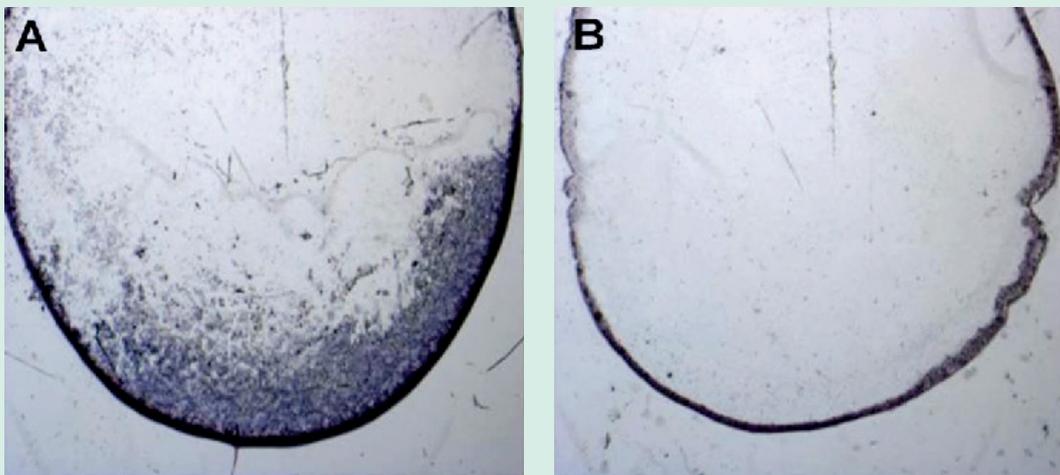
Lorsqu'il est réduit, le sel de tétrazolium, MTT, donne un précipité bleu, le formazan. On utilise ce sel pour vérifier le pouvoir réducteur du  $\beta$ -carotène des pucerons orange.

**a. Mise en contact du tétrazolium (MTT) avec un extrait de pucerons orange**

On place une solution de MTT sur une lame, à laquelle on ajoute un extrait de pucerons orange (contenant du  $\beta$ -carotène). L'ensemble a été exposé à de la lumière visible durant 30 minutes (A) ou placé à l'obscurité (B), puis le tout a été délicatement rincé. Lorsque le MTT est réduit, il précipite et forme du formazan qui reste sur la lame.

**Résultats obtenus dans différentes conditions expérimentales**  
 (« + » signifie « élément présent »)

Expérience	MTT	Extrait de puceron orange	Conditions	Photo du résultat obtenu
1	+	+	Lumière	A
2	+	+	Obscurité	B
3	-	+	Lumière	B
4	-	+	Obscurité	B
5	+	-	Lumière	B

**Photos présentant le résultat obtenu**

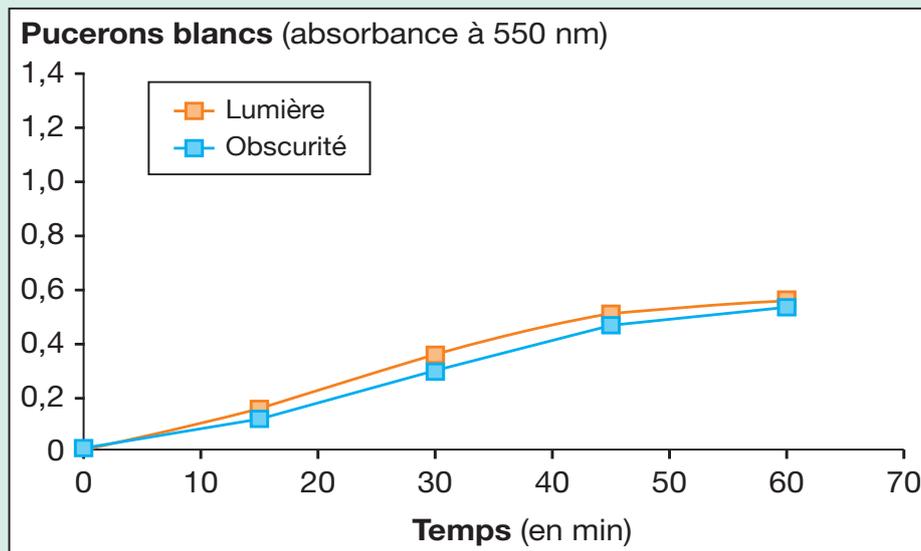
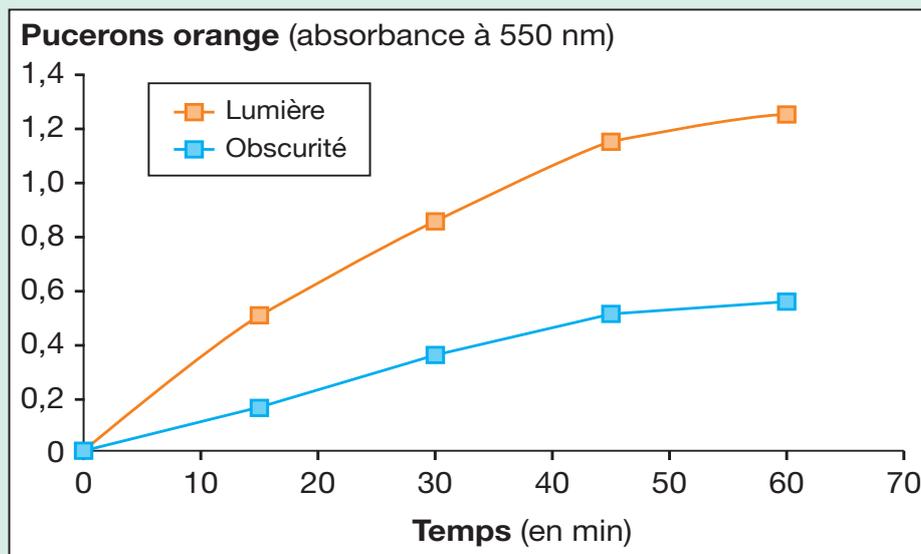
D'après A. Robichon *et al.*, *Nature*, 2012

Sur les photos A et B, les taches grises correspondent aux dépôts de formazan.

*Remarque* : on ne tiendra pas compte de la coloration noire correspondant à la ligne de contour.

### b. Dosage du formazan

Avec un protocole similaire à celui du document 2a, on dose la quantité de formazan produite dans différentes conditions. Pour cela, on mesure l'absorbance à 550 nm : celle-ci est directement proportionnelle à la quantité de formazan produite.

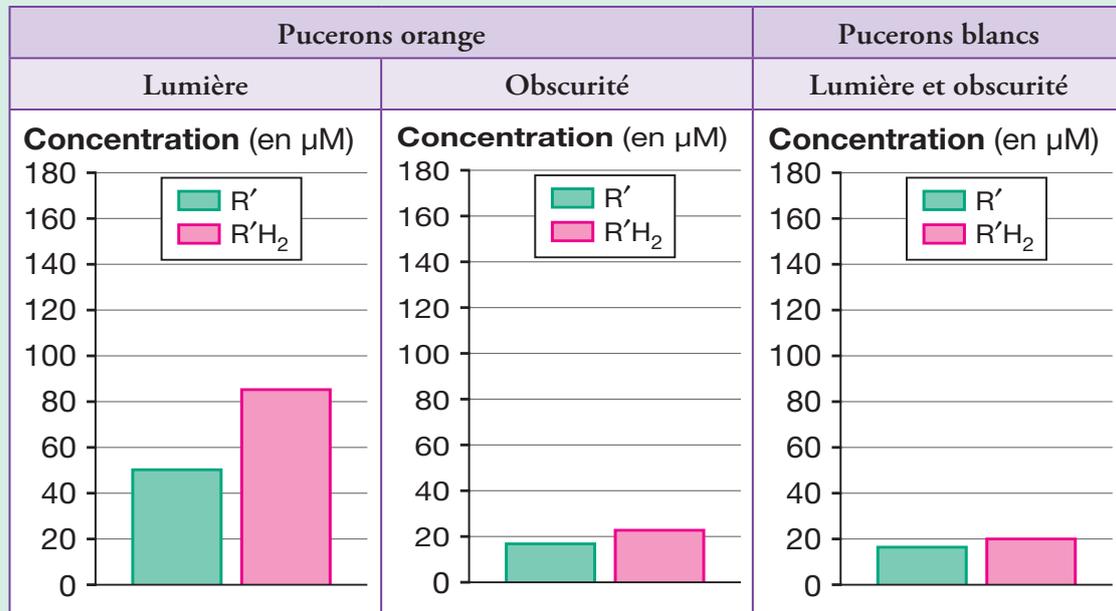


D'après A. Robichon *et al.*, *Nature*, 2012

## DOCUMENT 3

**Taux de R'/R'H<sub>2</sub> dans le cytosol et dans les mitochondries de pucerons placés dans différentes conditions**

Dans le couple rédox, R' est le composé oxydé tandis que R'H<sub>2</sub> est le composé réduit.

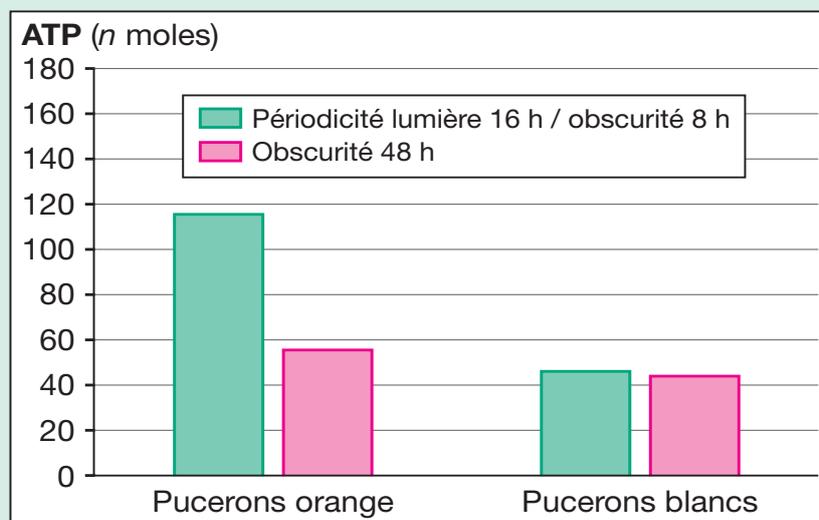


D'après A. Robichon *et al.*, *Nature*, 2012

N.B. : les résultats obtenus ont été considérés comme statistiquement significatifs.

SPÉCIALITÉ

## DOCUMENT 4

**Dosage d'ATP dans des pucerons, pour différentes conditions expérimentales**

D'après A. Robichon *et al.*, *Nature*, 2012



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Le sujet a de quoi surprendre puisqu'il s'agit de montrer qu'un animal, le puceron orange, réalise une sorte de photosynthèse, alors que vous avez appris qu'il s'agit d'une spécificité des organismes chlorophylliens. Toutefois, le libellé de la question indique que cette photosynthèse est particulière et il s'agit de montrer en quoi.
- Les premiers documents sont relatifs à la présence d'un pigment, le carotène, et à ses propriétés chez le puceron orange. Cela doit vous faire penser à la première phase de la photosynthèse chez les organismes chlorophylliens. Et ainsi vous conduire à exploiter les documents afin de montrer qu'il y a, chez le puceron, une phase similaire à la phase photochimique de la photosynthèse. En particulier que l'énergie lumineuse est convertie, grâce au carotène, en énergie chimique des composés  $R'H_2$ .
- La fin de la question indique que la photosynthèse du puceron orange est à l'origine d'une production d'ATP dans les mitochondries. Le puceron n'a pas de chloroplastes, et la deuxième phase de la photosynthèse qui aboutit à la synthèse de matières organiques n'a pas lieu. Les composés  $R'H_2$  formés au cours de la photosynthèse du puceron ne sont donc pas utilisés pour la synthèse de matières organiques. En revanche, leur oxydation dans les mitochondries fournit beaucoup d'énergie utilisable par les cellules du puceron.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- La phase photochimique de la photosynthèse produit des composés réduits  $RH_2$  et de l'ATP. La phase chimique produit du glucose à partir du  $CO_2$  en utilisant les produits de la phase photochimique.
- La chaîne respiratoire mitochondriale permet la réoxydation des composés réduits ainsi que la réduction du dioxygène en eau. Ces réactions s'accompagnent de la production d'ATP qui permet les activités cellulaires.



## CORRIGÉ 34

## Introduction

La photosynthèse est une fonction caractéristique des organes chlorophylliens où elle se déroule, dans les chloroplastes. Cependant, on parle ici de photosynthèse chez un animal : le puceron orange. À partir des informations extraites des documents, nous allons dégager les arguments pour justifier l'utilisation du terme « photosynthèse » chez ce puceron.

### I. Présence de $\beta$ -carotène chez le puceron orange (document 1)

- On a étudié par spectrométrie les cristaux orange obtenus en broyant des pucerons orange. On compare le résultat à celui obtenu par la spectrométrie du  $\beta$ -carotène.
- On constate que les extraits de pucerons présentent des pics comparables à ceux du  $\beta$ -carotène, situés à 1 550, 1 150 et 1 005  $\text{cm}^{-1}$ . Ces trois pics sont caractéristiques de la molécule de  $\beta$ -carotène. Dans l'extrait de pucerons, il existe donc une molécule présentant les mêmes types de liaison.

Les pucerons orange possèdent du  $\beta$ -carotène, comme le confirme le titre du document 2.

### II. Le pouvoir réducteur du $\beta$ -carotène du puceron orange (document 2)

- Les expériences décrites dans le document 2a permettent d'établir que le  $\beta$ -carotène du puceron peut réduire le MMT oxydé en MMT réduit appelé formazan.
- Comparons les expériences 1 et 5, qui diffèrent par le fait qu'il y a des extraits de pucerons en 1 et non en 5 : le MTT est réduit dans l'expérience 1 et non dans l'expérience 5. L'extrait de pucerons a provoqué la réduction de MTT en formazan.
- Comparons les expériences 1 et 2. Elles ne diffèrent que par l'éclairage : l'expérience 1 correspond à une exposition à la lumière, l'expérience 2 correspond à un placement à l'obscurité ; or à l'obscurité, il n'y a pas de réduction du MMT. La réduction de MMT par l'extrait de pucerons orange n'a lieu qu'à la lumière.
- Les expériences 3 et 4 confirment que, sans MMT, il n'y a pas d'apparition du formazan.



• Le document 2b prolonge de manière quantitative les résultats des expériences du document 2a. La quantité de formazan apparue sous l'action de l'extrait de pucerons orange fait plus que doubler à la lumière par rapport à l'obscurité. En revanche, avec l'extrait de pucerons blancs, la quantité de formazan produite est la même à la lumière qu'à l'obscurité, et la même que celle obtenue avec l'extrait de pucerons orange à l'obscurité. La différence entre les deux extraits réside dans le carotène présent chez les pucerons orange.

**INFO**

Ces données quantitatives montrent qu'il existe chez les pucerons, orange ou blancs, des substances capables de réduire le MTT, mais indépendamment de la lumière, ce que n'indiquaient pas les données qualitatives du document 2a.

Le  $\beta$ -carotène du puceron orange possède un pouvoir réducteur élevé à la lumière.

### III. La réduction des composés R' dans le cytosol et les mitochondries des pucerons orange (document 3)

- Dans les cellules du puceron, il n'y a pas de MTT, mais des molécules à l'état oxydé (R') pouvant être réduites (R'H<sub>2</sub>).
- Chez les pucerons orange, à la lumière, la concentration en R'H<sub>2</sub> est presque deux fois plus élevée que la concentration en R'. Il n'en est pas de même à l'obscurité, où les concentrations sont voisines. Il y a donc une **activation** de la réduction de R' en R'H<sub>2</sub> à la lumière. Cette réduction importante n'a lieu, chez le puceron blanc, ni à la lumière ni à l'obscurité.
- L'activation de la réduction à la lumière est donc liée à la présence du  $\beta$ -carotène. Le  $\beta$ -carotène est capable de réduire, *in vitro*, le MTT en formazan. Il est également capable, *in vivo*, de réduire, à la lumière, un composé R' présent dans les cellules.

### IV. Dosage de l'ATP chez les pucerons orange (document 4)

- Chez les pucerons blancs, la concentration d'ATP ne varie pas avec l'éclairement. Chez les pucerons orange, elle est le double à la lumière de sa valeur à l'obscurité.
- La concentration d'ATP plus forte indique une production plus importante de cette molécule énergétique chez les pucerons orange. Elle est liée à la présence de  $\beta$ -carotène à condition qu'il y ait de la lumière. Grâce au  $\beta$ -carotène, il y a une production plus importante d'ATP.

## Bilan

- La photosynthèse comporte une **phase photochimique** durant laquelle l'énergie lumineuse captée par les pigments chlorophylliens, dont fait partie le  $\beta$ -carotène, permet l'oxydation de l'eau avec réduction de composés R' en R'H<sub>2</sub>. Cette réaction d'oxydo-réduction permet une production d'ATP. Durant la seconde phase, phase non photochimique de la photosynthèse, l'ATP et le R'H<sub>2</sub> sont utilisés au cours de la synthèse de matières organiques à partir du CO<sub>2</sub>.
- Chez le puceron orange, le  $\beta$ -carotène permet la **réduction de R' en R'H<sub>2</sub> avec production d'ATP** ; cela correspond à la phase photochimique de la photosynthèse. En revanche, chez le puceron, **il n'y a pas d'équivalent à la phase non photochimique de la photosynthèse**.
- L'oxydation des composés réduits R'H<sub>2</sub>, formés à la lumière, a lieu dans les **mitochondries** où elle permet la synthèse d'une grande quantité d'ATP.
- La présence de  $\beta$ -carotène chez le puceron orange lui permet de réaliser, à la lumière, les réactions caractéristiques de la première phase de la photosynthèse qui conduit à la fabrication importante de composés réduits R'H<sub>2</sub>. L'oxydation de ces composés réduits dans les mitochondries produit beaucoup d'ATP, molécule énergétique utilisée par le puceron pour ses activités.



## Des climats anciens en Afrique intertropicale

Le musée Testut-Latarjet et le musée des Confluences de Lyon ont mis à la disposition des chercheurs des fragments d'os et des dents de momies égyptiennes datées entre 5 500 ans BP (*Before Present* = avant 1951) et 1 500 ans BP, afin qu'ils recherchent des indices sur le climat africain de cette période.

DOCUMENT  
DE RÉFÉRENCE

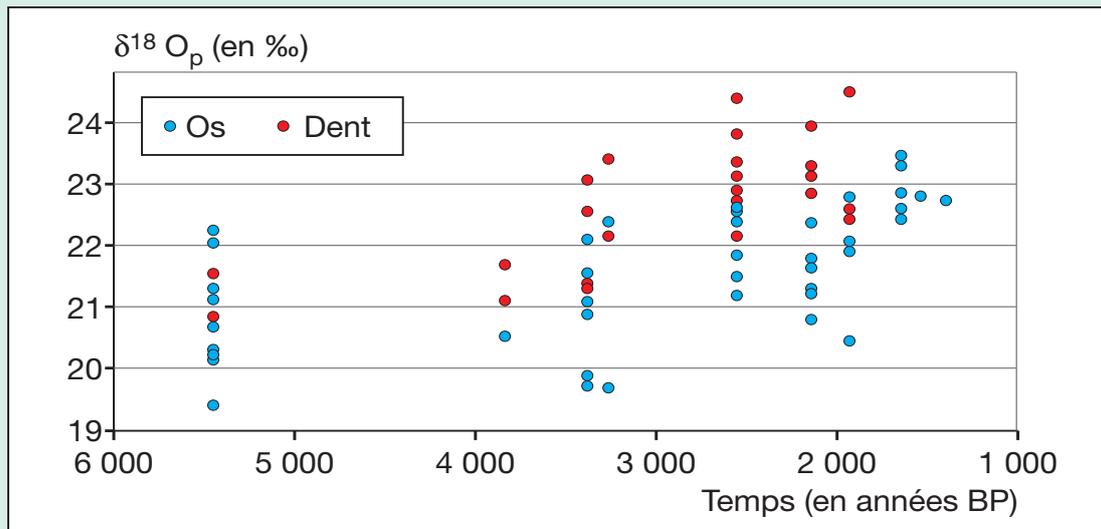
### Localisation géographique des sites étudiés



DOCUMENT 1

**Variation du  $\delta^{18}\text{O}$  des os et des dents des momies égyptiennes**

L'apatite (phosphate de calcium), constituant de l'os, et l'hydroxyapatite (phosphate de calcium hydraté), constituant de l'émail des dents, contiennent de l'oxygène dans le groupement phosphate. Des chercheurs ont ainsi pu mesurer le  $\delta^{18}\text{O}$  des fragments d'os et des dents de momies égyptiennes ( $\delta^{18}\text{O}_p$ ) couvrant une époque entre 5 500 ans BP et 1 500 ans BP.



D'après Touzeau *et al.*, 2013 (modifié)

SPÉCIALITÉ

DOCUMENT 2

**Corrélation entre le  $\delta^{18}\text{O}_p$  des os et des dents et le  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau de boisson**

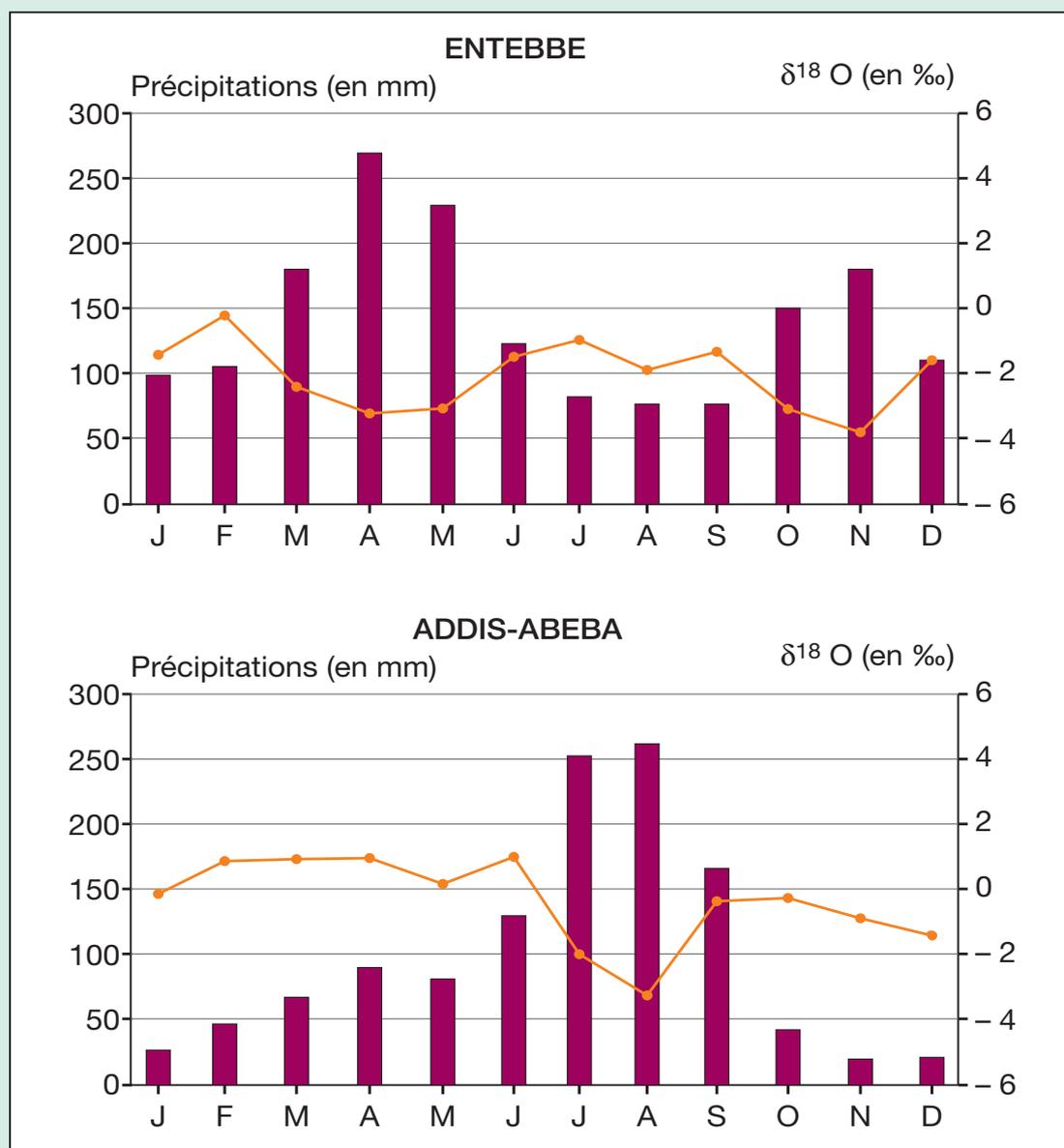
Le  $\delta^{18}\text{O}$  mesuré dans les os et les dents des êtres humains ( $\delta^{18}\text{O}_p$ ) est corrélé au  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau de boisson ( $\delta^{18}\text{O}_w$ ) par l'équation simplifiée suivante :

$$(\delta^{18}\text{O}_w) = 1,54 (\delta^{18}\text{O}_p) - 33,72$$

DOCUMENT 3

**Relation entre les précipitations mensuelles (histogramme) et le  $\delta^{18}\text{O}$  moyen mensuel de l'eau de pluie (courbe reliant les carrés) à Entebbe en Ouganda et Addis-Abeba en Éthiopie**

En zone intertropicale, le facteur majeur contrôlant la composition du  $\delta^{18}\text{O}$  des eaux de pluie est la quantité de précipitations et non la température.



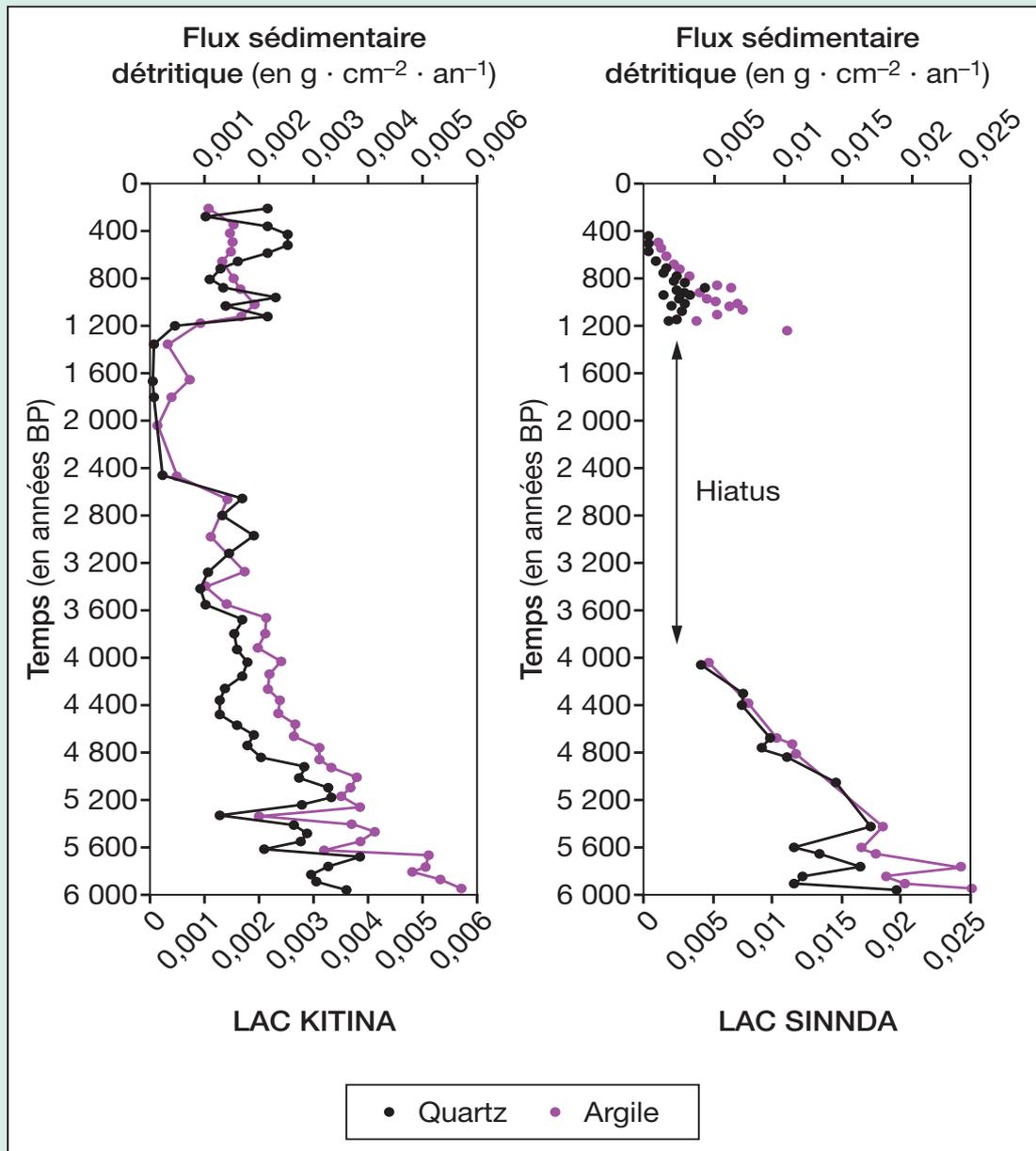
D'après les données IAEA (*International Atomic Energy Agency*) et WMO (*World Meteorological Organization*)

Dans le cas des Égyptiens, on peut considérer que l'eau de boisson est l'eau du Nil, eau tombée sous forme de pluie au-dessus des régions sources du Nil.

DOCUMENT 4

**Variations des flux sédimentaires détritiques dans les lacs Sinnda et Kitina (République du Congo)**

Durant la période étudiée, ces lacs étaient situés en milieu forestier. Dans les milieux forestiers intertropicaux, les particules solides transportées par les cours d'eau proviennent surtout de l'érosion des berges. Ainsi, la charge solide des cours d'eau est directement corrélée aux crues, et donc aux précipitations. Un assèchement complet du lac provoque une interruption de la sédimentation (hiatus).



D'après J. Bertaux, cnrs.fr

SPÉCIALITÉ



- En utilisant les informations des documents et les connaissances :
- expliquez comment les études isotopiques menées sur des momies égyptiennes ont permis de reconstituer l'évolution des précipitations en Afrique intertropicale entre 5 500 ans BP et 1 500 ans BP ;
  - montrez que les résultats de cette étude sont en accord avec les données sédimentaires.

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Le libellé du sujet est sans ambiguïté et indique le plan à suivre. Cela conduit à utiliser les documents suivant l'ordre fourni.
- Le premier point à établir est l'évolution du delta isotopique de l'oxygène dans les os et les dents durant les quatre milliers d'années considérés. Il ne faut pas faire une analyse **pointilliste** des valeurs fournies, mais relever des valeurs **significatives** qui permettent de dégager une **évolution générale**, c'est-à-dire une augmentation du delta isotopique de l'oxygène durant cette période.
- Il faut comprendre que le document 2 est fourni pour traduire, sous forme d'évolution des précipitations, l'évolution du delta isotopique des os et des dents. La formule indique que les variations du delta isotopique de l'oxygène de l'eau de boisson suivent celles des os. Cela est dû au fait que le delta isotopique des os dépend de l'eau bue.
- Il faut établir le rapport entre les variations du delta isotopique de l'eau et les précipitations. Cela est réalisé grâce au document 3. Il ne reste plus qu'à conclure et confirmer les conclusions dégagées par les données sédimentaires.

### ■ Mobiliser ses connaissances

Malgré le libellé du sujet (« en utilisant les informations des documents et les connaissances »), aucune connaissance précise n'est requise. Il est plutôt fait appel à la familiarisation avec la donnée qu'est le delta isotopique de l'oxygène. Ce sujet implique surtout les capacités à extraire des informations pertinentes des documents par rapport à la question posée, et à les mettre en relation.

**CORRIGÉ 35**

Des chercheurs ont pu établir de manière indirecte la succession de climats en Afrique intertropicale. Nous allons voir comment la mise en relation de mesures du delta  $^{18}\text{O}$  effectuées dans des restes osseux et des dents de momies égyptiennes avec les précipitations a permis d'établir une histoire des climats entre 5 500 ans BP et 1 500 ans BP dans cette région. Nous verrons comment des observations sédimentaires sont en accord avec les résultats obtenus.

### I. Évolution du $\delta^{18}\text{O}_p$ de dents et d'os de momies égyptiennes de 5 500 à 1 500 ans BP (document 1)

- À 5 500 ans BP, le  $\delta^{18}\text{O}$  des os et des dents est au plus égal à 22 ‰ et généralement inférieur. À 1 500 ans BP, ce delta est toujours supérieur à 22 ‰. On constate donc une **augmentation du  $\delta^{18}\text{O}$  en 4 000 ans**.
- Cette augmentation globale sur 4 000 ans reflète une tendance générale, qui s'amorce à partir d'environ 3 300 ans BP et devient nette à partir de 2 500 ans BP. Par contre, le document 1 n'apporte pas d'informations sur la signification de l'augmentation du  $\delta^{18}\text{O}_p$  au cours du temps.

### II. Signification climatique de l'augmentation du $\delta^{18}\text{O}_p$

- On peut considérer que, depuis 5 500 ans BP au moins, l'eau de boisson des Égyptiens est l'eau de pluie qui alimente le Nil (document 3).
- Le document 2 indique une corrélation entre le  $\delta^{18}\text{O}_p$  et le  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau de boisson. La formule proposée montre que **le  $\delta^{18}\text{O}_w$  évolue de la même façon que le  $\delta^{18}\text{O}_p$** . Ainsi, la valeur « 20 » du  $\delta^{18}\text{O}_p$  correspond à « - 2,92 » pour le  $\delta^{18}\text{O}_w$  et, lorsque le  $\delta^{18}\text{O}_p$  vaut 23, le  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau est 1,7. On peut donc en conclure que, comme le  $\delta^{18}\text{O}_p$  des os et des dents a augmenté entre 5 500 ans BP et 1 500 ans BP, le  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau de boisson a lui aussi augmenté.
- Les graphes du document 3 permettent de déterminer la signification d'une augmentation du  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau de boisson. Les histogrammes montrent comment la quantité de précipitations influe sur le  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau de pluie.
- On reconnaît deux saisons de pluie à Entebbe (avril-mai et octobre-novembre) et une seule saison de pluie à Addis-Abeba (juillet à septembre) : **dans les deux cas, le  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau de pluie chute**.

**Notez bien**

Ces calculs permettent de comprendre pourquoi l'échelle des deltas isotopiques est différente entre les documents 1 et 3.



- Inversement, une augmentation du  $\delta^{18}\text{O}_w$  correspond à une diminution des précipitations, donc à une période plus sèche.
- Puisque le  $\delta^{18}\text{O}_w$  de l'eau de pluie a augmenté entre 5 500 ans BP et 1 500 ans BP, cela signifie une diminution de la quantité des précipitations dans les régions voisines des sources du Nil au cours de cette période.

Entre 5 500 ans BP et 1 500 ans BP, plus particulièrement à partir de 3 000 ans BP, le climat de la région des sources du Nil devient plus sec, moins pluvieux.

### III. Climat et données sédimentaires

- La sédimentation a été étudiée dans des lacs situés à une latitude voisine de celle des sources du Nil blanc (région d'Entebbe), mais plus à l'ouest.
- Au lac Kitina, le flux sédimentaire détritique était important il y a 5 500 ans BP. Il a diminué régulièrement jusqu'à 2 500 ans BP, et de 2 500 ans BP jusqu'à 1 500 ans BP, ce flux sédimentaire est devenu très faible, quasiment nul.

Cela indique une diminution importante des précipitations durant cette période.

- Les données sur le lac Sinnda confirment celles du lac Kitina, mais de façon encore plus frappante. En particulier, l'assèchement complet entre 4 000 ans BP et 1 200 ans BP indique des précipitations très faibles.

### Bilan

- Les données sédimentaires confirment donc l'existence d'un climat relativement pluvieux il y a environ 5 500 ans BP, une diminution de la pluviosité de 5 500 ans BP à environ 3 000 ans BP et enfin une période de sécheresse qui se termine à 1 500 ans BP.
- Les données sédimentaires **renseignent directement** sur la pluviosité inter-tropicale au cours du temps. Le fait qu'elles soient en accord avec les données isotopiques ( $\delta^{18}\text{O}$ ) sur les os et les dents montre que ces dernières peuvent **renseigner indirectement**, mais de façon fiable, sur l'évolution climatique.

## La transformation de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère primitive de la Terre, issue du dégazage volcanique au cours du refroidissement du globe, était très différente de l'atmosphère actuelle. La transformation de l'atmosphère au cours du temps est marquée en particulier par un fort enrichissement en dioxygène, ce qui lui a conféré un caractère oxydant.

► À partir de l'exploitation des documents et de vos connaissances, reconstituez la chronologie des événements ayant abouti à une atmosphère riche en dioxygène.

## DOCUMENT 1

### Les formations sédimentaires d'oxyde de fer

#### a. Les paléosols rouges continentaux ou « red beds »

Les paléosols, ou sols fossiles, se sont formés par altération de roches continentales au contact de l'atmosphère. La couleur rouge de certains de ces sols provient de la forte teneur en hématite, minéral d'oxyde de fer de formule  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Le fer y est oxydé sous la forme ionique  $\text{Fe}^{3+}$ .



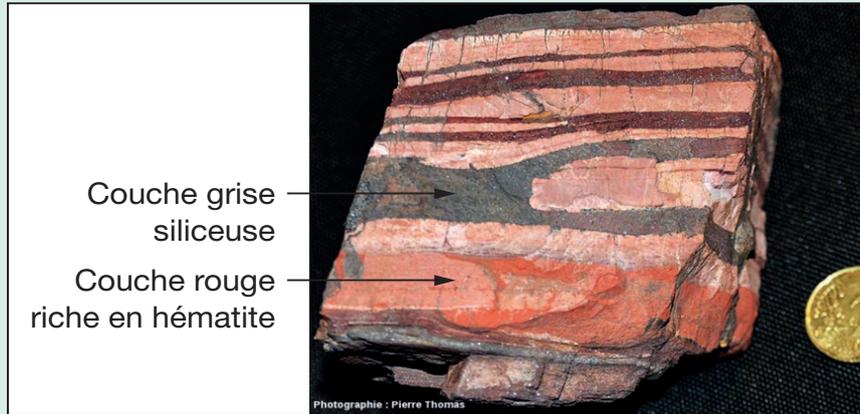
ph © Angus McComiskey/Alamy Stock Photo

Dépôts sédimentaires continentaux de couleur rouge  
Blyde River Canyon, Afrique du Sud

**b. Les fers rubanés ou B. I. F. (Banded Iron Formations), des formations océaniques**

Les fers rubanés sont formés par une alternance de couches d'oxydes de fer (rouges) et de couches siliceuses (grises). Ce sont des roches sédimentaires qui se sont formées en milieu marin par précipitation de fer et de silice en solution dans l'eau de mer.

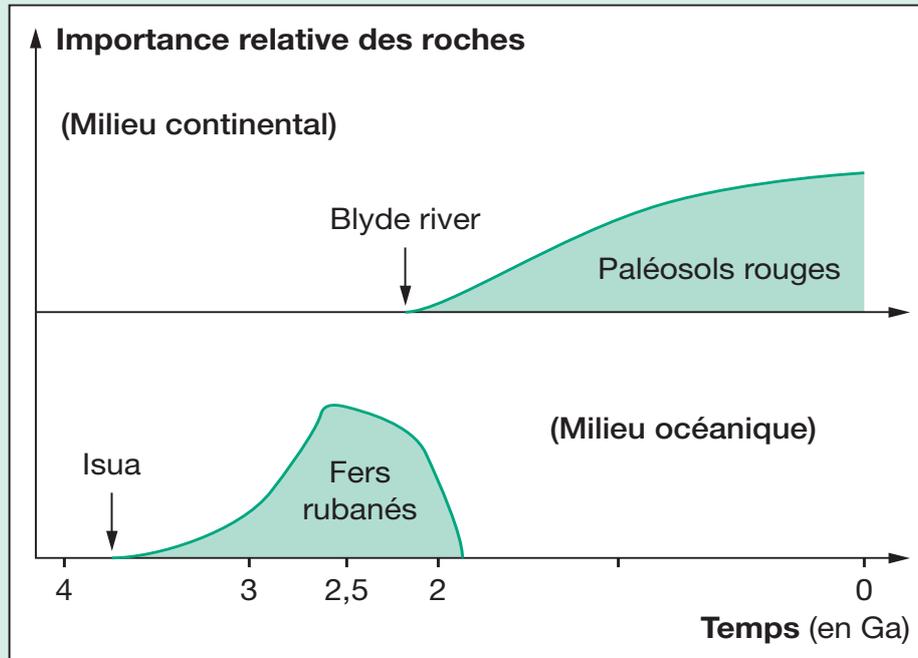
Les couches rouges contiennent de l'hématite  $Fe_2O_3$ . Le fer y est oxydé sous la forme ionique  $Fe^{3+}$ .



**Fers rubanés de Barberton, Afrique du Sud**

D'après [planet-terre.ens-lyon.fr](http://planet-terre.ens-lyon.fr)

**c. Extension temporelle**



D'après C. Klein, *Nature*, 1997

Les plus anciens fers rubanés sont datés de 3,8 milliards d'années (fers rubanés d'Isua au Groenland). Les plus anciens sols rouges sont datés de 2,2 milliards d'années (Blyde River). Tous les sols fossiles plus anciens sont dépourvus d'hématite et montrent un appauvrissement en fer que l'on attribue au lessivage des formes solubles du fer par les eaux de pluie.

## DOCUMENT 2

**Les différentes formes ioniques du fer**

Le fer constitue 5 % de la masse de la croûte terrestre. En solution aqueuse, le fer existe à l'état naturel sous deux formes ioniques :

- $\text{Fe}^{2+}$ , également noté Fe(II) ;
- $\text{Fe}^{3+}$ , également noté Fe(III).

La forme  $\text{Fe}^{3+}$  est plus oxydée que la forme  $\text{Fe}^{2+}$ .

Ces deux formes ioniques ne présentent pas la même mobilité dans l'eau.

**Comportement des ions fer en solution selon le degré d'oxydation**

ph © Kim Christensen / Shutterstock

- Protégée de l'action du dioxygène de l'air, une solution de sulfate de fer(II) reste verdâtre et translucide.

Les ions  $\text{Fe}^{2+}$  demeurent en solution.

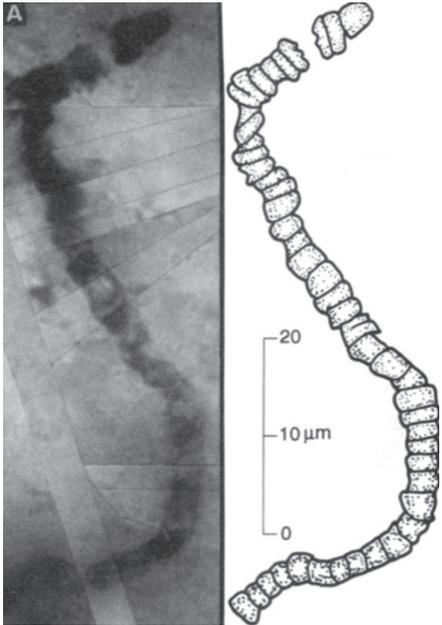


ph © Kim Christensen / Shutterstock

- Sous l'action du dioxygène de l'air, la solution de sulfate de fer(II) a formé un précipité rougeâtre. Les ions  $Fe^{2+}$  ont été oxydés en ions  $Fe^{3+}$  qui ont précipité aussitôt en oxyde de fer(III)  $Fe_2O_3$  et hydroxyde de fer(III)  $Fe(OH)_3$ .

**DOCUMENT 3 Les stromatolithes**

Les stromatolithes sont des formations sédimentaires carbonatées (calcaires) marines constituées d'une superposition de feuillets formant un dôme. L'origine biologique de ces formations a été démontrée pour des stromatolithes de 2,7 milliards d'années. Les plus anciens stromatolithes ont été datés à environ 3,5 milliards d'années.

Stromatolithe de Pilbara, Australie	Photographie d'une structure retrouvée dans une lame mince de stromatolithe fossile (Pilbara, Australie)
 <p>ph © Auscape/UG/Getty Images</p>	 <p>1993 by the American Association for the Advancement of Science – J.W. Schopf in Science, 1993, vol. 260, n° 5108, pp. 640-646.</p>

DOCUMENT 4

Les cyanobactéries

a. Caractéristiques des cyanobactéries actuelles

Les cyanobactéries sont des organismes microscopiques procaryotes. Leur cytoplasme contient notamment des pigments chlorophylliens.

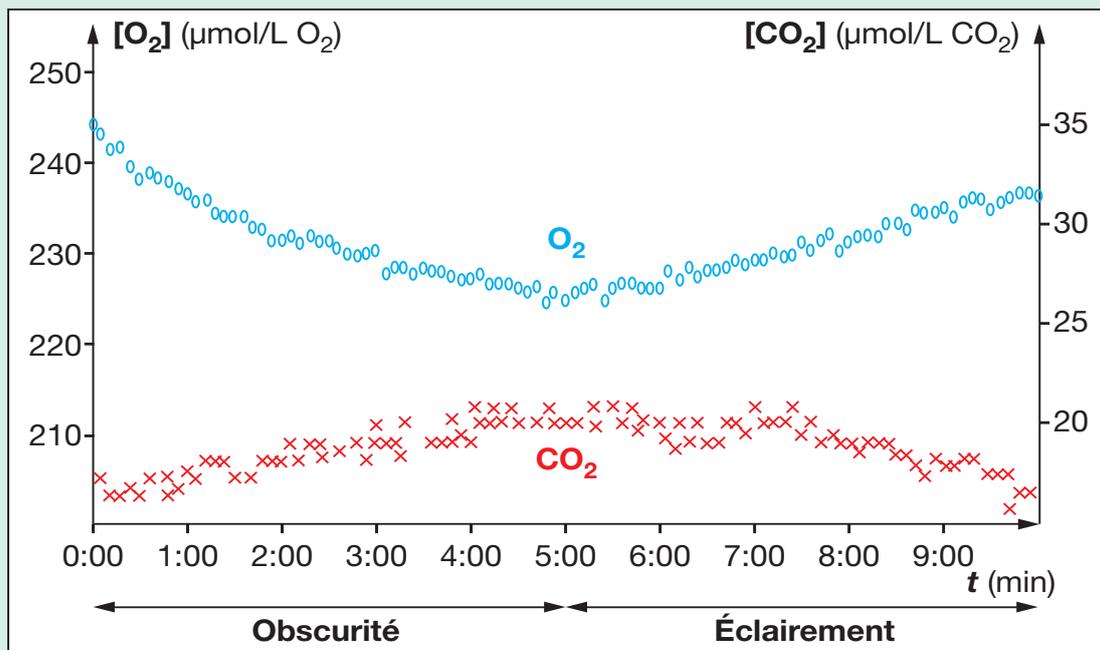


ph © Dr. Robert Calentine/Visuals Unlimited/ Getty Images

Photographie au microscope optique de cyanobactéries actuelles (genre Nostoc)

b. Métabolisme des cyanobactéries actuelles

Une culture de cyanobactéries est placée dans une enceinte hermétique. Les teneurs en dioxygène et en dioxyde de carbone sont relevées en différentes conditions d'éclairement.



Évolution des teneurs en dioxygène et dioxyde de carbone de la culture de cyanobactéries

SPÉCIALITÉ



**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Les documents à analyser se rapportent à la succession des phénomènes qui ont conduit à la présence de dioxygène dans l'atmosphère, sachant que l'atmosphère initiale n'en contenait pas.
- Le **document 2** fournit les données de chimie nécessaires pour exploiter les informations fournies par le **document 1**. Il n'est pas judicieux d'exploiter ce document isolément, et il est donc préférable de l'associer à l'analyse du document 1.
- Il faut bien se rappeler qu'il y a un équilibre entre le dioxygène dissous dans l'eau et le dioxygène atmosphérique. Si les eaux marines sont oxygénées et que l'atmosphère est dépourvue de dioxygène, celui-ci diffuse de l'eau vers l'atmosphère.
- Enfin, pour exploiter les **documents 3 et 4**, qui renseignent sur l'origine du dioxygène, il est nécessaire de réinvestir le principe de l'actualisme.

**■ Mobiliser ses connaissances**

L'atmosphère initiale de la Terre était différente de l'atmosphère actuelle. Sa transformation est la conséquence, notamment, du développement de la vie. L'histoire de cette transformation se trouve inscrite dans les roches, en particulier celles qui sont sédimentaires. Elles révèlent le passage de l'atmosphère primitive à l'atmosphère oxydante.

**CORRIGÉ 36**

L'histoire de la transformation de l'atmosphère terrestre, et en particulier celle de son oxygénation, est inscrite dans les formations sédimentaires continentales et marines anciennes. L'exploitation des informations fournies par ces roches va nous permettre de reconstituer la chronologie des événements qui ont abouti à la présence de dioxygène dans l'atmosphère.

**I. Les paléosols rouges : l'apparition du dioxygène dans l'atmosphère**

- Les plus anciens sols rouges (**document 1a**) sont datés de 2,2 Ga (milliards d'années). La couleur rouge de ces sols est due à leur richesse en hématite (**oxyde ferrique**). Le **document 2** indique que, sous l'action du dioxygène de



l'air, les ions ferreux en solution s'oxydent en ions ferriques qui précipitent en oxyde ferrique, notamment en hématite.

Les paléosols rouges témoignent de la présence du dioxygène dans l'atmosphère depuis 2,2 Ga. Leur abondance croissante au cours du temps est due, en partie, à une augmentation de la teneur en dioxygène de l'atmosphère.

- Inversement, l'absence de paléosols rouges indique qu'avant 2,2 Ga, l'atmosphère était dépourvue de dioxygène.

## II. Les fers rubanés : l'apparition du dioxygène sur le globe terrestre

- Les gisements de fers rubanés sont des formations marines qui apparaissent il y a 3,5 Ga et persistent jusqu'à 2,2 Ga, en connaissant un grand développement entre 2,7 et 2 Ga. Ces formations sédimentaires contiennent des couches riches en hématite où le fer se trouve à l'état oxydé (doc. 1c).

- Le document 1b indique que les sols continentaux plus anciens que 2,2 Ga montrent un appauvrissement en fer que l'on attribue au lessivage des formes solubles du fer, c'est-à-dire les ions ferreux (doc. 2), par les eaux de pluie.

L'hématite des fers rubanés résultait donc d'une oxydation des ions ferreux provenant de l'altération des roches continentales et apportés aux eaux marines par les fleuves et rivières. Cette oxydation indique qu'au moment des dépôts des couches rouges des fers rubanés, les eaux marines contenaient de l'oxygène dissous.

Cela signifie aussi qu'un mécanisme producteur de dioxygène était apparu en milieu marin. Mais, pendant la majeure période du dépôt des fers rubanés, le dioxygène produit était immédiatement consommé par l'oxydation des ions ferreux... En conséquence, il ne diffusait pas dans l'atmosphère.

## III. Les cyanobactéries : l'origine du dioxygène

- Les gisements de fers rubanés commencent à se former il y a 3,5 milliards d'années, ce qui coïncide avec l'apparition des stromatolithes (doc. 3). Cela suggère une relation de cause à effet.

- Les documents 3 et 4a montrent que les stromatolithes sont des formations marines qui présentent des structures filamenteuses que l'on retrouve dans les cyanobactéries actuelles. Des édifices évoquant les stromatolithes fossiles sont d'ailleurs actuellement édifiés par les cyanobactéries.

### INFO

Le caractère discontinu du dépôt des couches rouges des fers rubanés (alternance avec des couches siliceuses) semble indiquer que les eaux marines n'étaient pas constamment oxygénées.

- Les cyanobactéries sont des micro-organismes procaryotes dont le cytoplasme contient des **pigments chlorophylliens**. Le milieu de culture de bactéries actuelles s'appauvrit en dioxyde de carbone et s'enrichit en dioxygène lorsque les cyanobactéries sont éclairées (doc. 4). Cela signifie que ces micro-organismes chlorophylliens ont, à la lumière, des échanges gazeux photosynthétiques avec leur milieu de vie aquatique. **Le dioxygène est un produit de la photosynthèse.**
- L'application du **principe de l'actualisme** conduit à dire que **les cyanobactéries fossiles** qui ont peuplé les eaux marines depuis 3,5 Ga étaient aussi capables de photosynthèse, et sont donc **à l'origine du dioxygène** dissous dans les eaux marines dont la présence est révélée par les fers rubanés.

## Bilan

- L'atmosphère initiale était totalement dépourvue de dioxygène. Le dioxygène produit en milieu marin entre 3,5 et 2,2 milliards d'années **était d'origine biologique** car provenant de l'activité photosynthétique des cyanobactéries.
- Pendant cette période, le dioxygène a été entièrement **consommé par l'oxydation des ions ferreux** dissous dans l'eau de mer. Les eaux marines n'étaient que transitoirement oxygénées et, par conséquent, le dioxygène ne diffusait pas dans l'atmosphère. Celle-ci est restée sans dioxygène jusqu'à 2,2 Ga.
- Entre 2,2 et 1,8 Ga, on constate à la fois la présence de fers rubanés en milieu marin (mais ils sont en net déclin) et de paléosols rouges en milieu continental. Cela signifie que la production biologique de dioxygène par les cyanobactéries n'a pas été entièrement consommée par l'oxydation des ions ferreux. **Les eaux océaniques sont devenues oxygénées en permanence et le dioxygène a diffusé dans l'atmosphère.**
- Par la suite, l'augmentation de la teneur en dioxygène suggérée par le document sur les paléosols est due au fait que les mécanismes producteurs de dioxygène l'emportent sur les mécanismes biologiques (respiration) et physico-chimiques (oxydation des ions minéraux).

### INFO

Les cyanobactéries respirent (document 4b) ; s'il en était de même pour les cyanobactéries fossiles, une partie du dioxygène produit par photosynthèse était utilisée pour leur respiration, mais l'intensité de leurs échanges gazeux photosynthétiques était supérieure à celle de leurs échanges gazeux respiratoires de sorte que, globalement, elles oxygénaient leur milieu de vie.

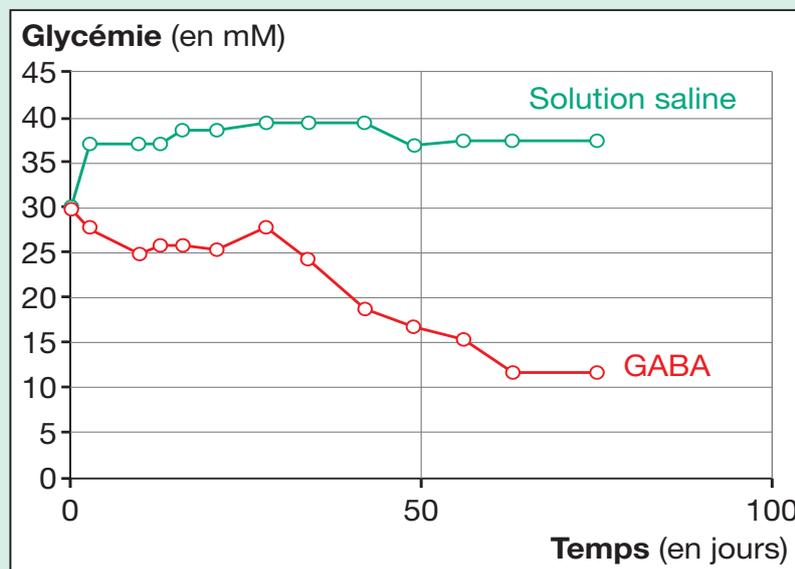
## Le GABA, espoir de traitement pour les diabétiques de type 1

► À partir de l'étude des documents et des connaissances, justifiez que le GABA constitue un espoir de traitement pour les diabétiques de type 1 et expliquez son mode d'action.

## DOCUMENT 1

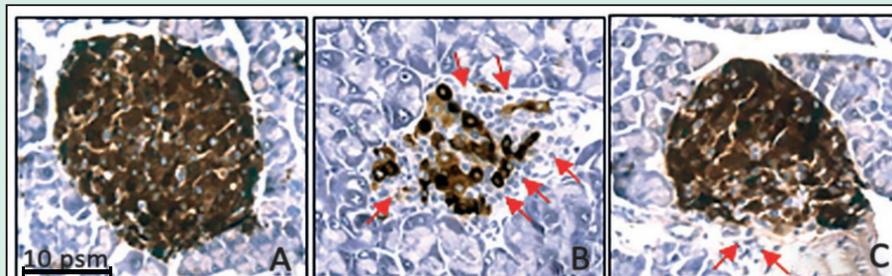
### Conséquences de l'injection quotidienne de GABA sur des souris diabétiques

a. Concentration en glucose mesurée dans le sang de souris diabétiques ayant reçu des injections quotidiennes de GABA ou de solution saline (témoin)



Soltani *et al.*, *PNAS*, 2011

b. Coupes de pancréas de souris observées au microscope après marquage des cellules  $\beta$  des îlots de Langerhans (en noir) et identification de lymphocytes infiltrant le tissu (flèches rouges)

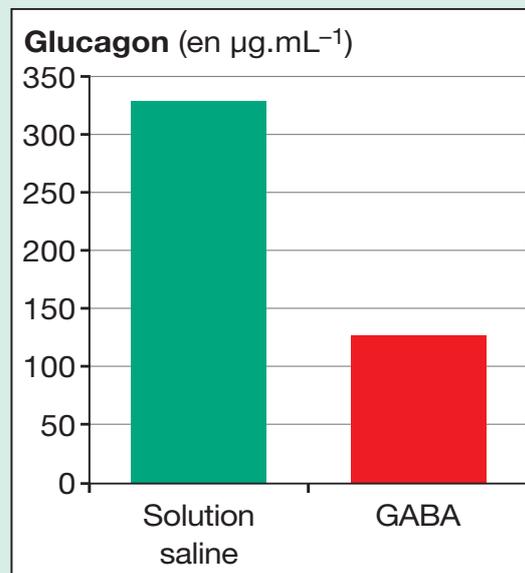
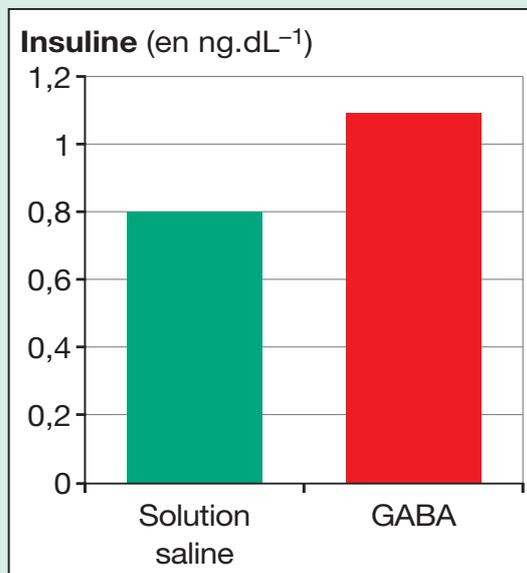


CC BY-NC-ND

A – Pancréas d’une souris non diabétique  
 B – Pancréas d’une souris diabétique  
 C – Pancréas d’une souris diabétique ayant reçu des injections quotidiennes de GABA

Soltani *et al.*, *PNAS*, 2011

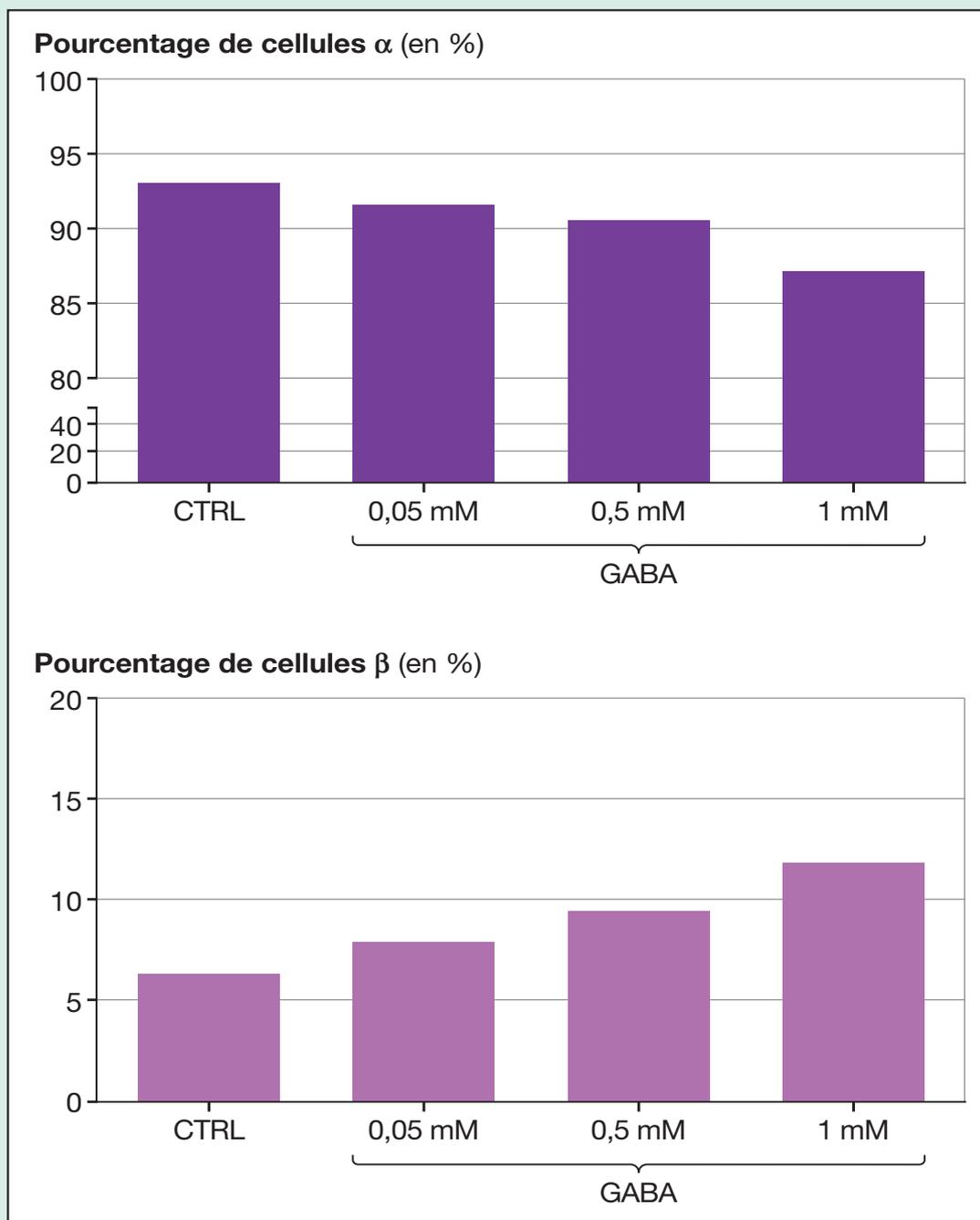
c. Concentrations d’insuline et de glucagon mesurées dans le sang de souris diabétiques ayant reçu des injections quotidiennes de solution saline ou de GABA



Soltani *et al.*, *PNAS*, 2011

## DOCUMENT 2

**Pourcentage des cellules productrices de glucagon (cellules  $\alpha$ ) ou d'insuline (cellules  $\beta$ ) dans les îlots de Langerhans de souris ayant reçu, ou non (CTRL), des injections de GABA à différentes concentrations**



D'après Ben-Othman *et al.*, *Cell*, 168, 2017

SPÉCIALITÉ



## DOCUMENT 3

### Effet du GABA sur la proportion de cellules productrices d'insuline et de glucagon dans les îlots de Langerhans

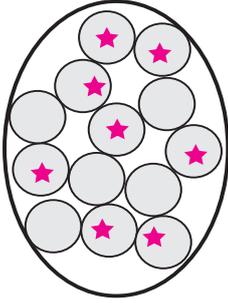
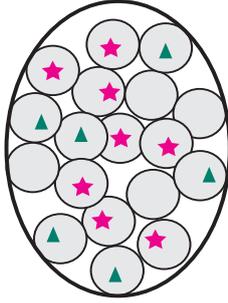
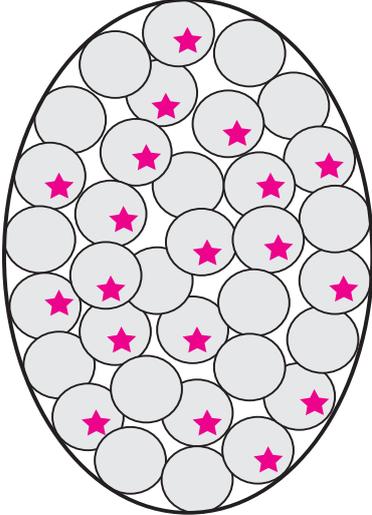
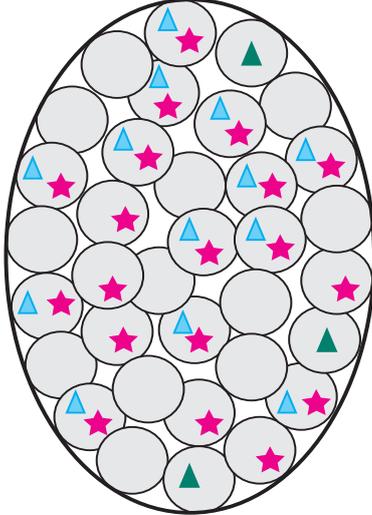
Traitement reçu par les souris	Schématisation simplifiée d'un îlot de Langerhans avec marquage des cellules produisant de l'insuline (★)	Schématisation simplifiée d'un îlot de Langerhans avec marquage : – des cellules produisant de l'insuline (★) – des cellules produisant du glucagon (▲) – des cellules ayant produit du glucagon mais n'en produisant plus (▲)
Solution saline (témoin)		
GABA		

Schéma simplifié d'après Ben-Othman *et al.*, *Cell*, 168, 2017

**LES CLÉS DU SUJET****■ Comprendre le sujet**

- Le sujet comprend deux parties : la première porte sur l'espoir d'un traitement chez les diabétiques de type 1, la deuxième sur le mode d'action du GABA. Comprendre ce mode d'action permet d'expliquer l'utilité d'un tel médicament pour les diabètes de type 1, il est donc plus judicieux de commencer par cette partie.
- Le document 1 met en évidence l'action hypoglycémiante du GABA chez les souris rendues artificiellement diabétiques, et laisse supposer que son action s'exerce sur les îlots de Langerhans.
- Les documents 2 et 3 permettent de préciser les deux modalités d'action du GABA. Le document 3 est une schématisation extrême des résultats expérimentaux des chercheurs pour mettre en relief les faits essentiels. Il faut l'analyser très rigoureusement en utilisant la méthode comparative et en s'appuyant sur une analyse quantitative des données fournies.
- Il reste à utiliser vos connaissances sur le diabète de type 1 humain pour expliquer pourquoi le GABA pourrait être un médicament.

**■ Mobiliser ses connaissances**

- La régulation de la glycémie repose notamment sur les hormones pancréatiques : insuline et glucagon.
- Le diabète de type 1 résulte de la perturbation de la régulation de la glycémie provoquée par l'arrêt ou l'insuffisance d'une production pancréatique d'insuline.
- L'absence ou l'insuffisance de l'insuline est due à une destruction auto-immune des cellules  $\beta$  des îlots de Langerhans.

**CORRIGÉ 37****Introduction**

Le diabète de type 1 et sa manifestation hyperglycémique sont dus à la destruction des cellules bêta des îlots de Langerhans du pancréas. Les recherches récentes laissent espérer que le GABA puisse être utilisé dans le traitement de ce type de diabète.

Nous allons, en exploitant les documents proposés, établir les modes d'action du GABA qui permettraient de rétablir l'activité des cellules bêta.



## I. Conséquences des injections régulières de GABA (document 1)

### 1. Effets du GABA sur l'hyperglycémie

La stabilité de la glycémie (5,4 g/L) des souris témoins (document 1a) indique qu'elles sont restées diabétiques durant toute la durée de l'expérience. Par contre, chez des souris également diabétiques

#### INFO

30 mM/L  
équivalent à 5,4 g/L  
( $30 \times 180/1\ 000 = 5,4$ )

traitées par le GABA, il y a une baisse régulière de la glycémie qui passe de 5,4 g/L (30 mM) à environ 1,8 g/L (10 mM), soit une réduction des deux tiers de la glycémie d'origine : le GABA a un **effet hypoglycémiant net**.

### 2. Action du GABA sur le pancréas (document 1b)

- Par rapport au pancréas de la souris non diabétique, celui d'une souris diabétique se caractérise par la destruction importante des îlots de Langerhans, associée à une infiltration de lymphocytes sans doute responsables de la destruction des cellules pancréatiques. Sous l'action du GABA, il y a **restauration des îlots de Langerhans** et diminution des infiltrations leucocytaires.
- La baisse importante de la glycémie sous l'action du GABA notée dans le document 1a est donc associée à une restauration des îlots de Langerhans. Cela laisse supposer que ces îlots restaurés sécrètent de l'insuline et possèdent donc des cellules bêta.

### 3. Action du GABA sur les concentrations d'insuline et de glucagon

- Le document 1c indique que, sous l'action du GABA :
  - la concentration d'insuline passe de 0,8 ng/dL chez les souris témoins à 1,1 ng/dL chez les souris traitées ;
  - la concentration en glucagon passe de 325 µg/mL chez les souris témoins à 120 µg/mL chez les souris traitées.

L'injection quotidienne de GABA a donc pour résultat d'**augmenter l'insulinémie** et de **diminuer la glucagonémie** chez les souris diabétiques.

- L'insuline ayant un effet hypoglycémiant et le glucagon un effet hyperglycémiant, cela explique la baisse importante de la glycémie notée dans le document 1a.
- La restauration des îlots de Langerhans sous l'action du GABA chez la souris diabétique s'accompagne d'une augmentation de la sécrétion d'insuline et d'une diminution de celle de glucagon. Cela permet de supposer que le GABA a pour effet de **restaurer des cellules bêta** et de **diminuer le nombre de cellules alpha**.

## II. Effet du GABA sur le nombre de cellules $\alpha$ et $\beta$ chez les souris diabétiques (document 2)

- Chez les souris diabétiques témoins (CTRL), les îlots de Langerhans sont constitués à 93 % de cellules  $\alpha$  et à 7 % de cellules  $\beta$ , donc très peu de cellules  $\beta$  sécrétrices d'insuline.
- Sous l'action du GABA, le pourcentage de cellules  $\alpha$  diminue tandis que celui des cellules  $\beta$  augmente, et cela d'autant plus que la concentration de GABA est élevée.

## III. Le double effet du GABA (document 3)

- Dans un premier temps, on considère uniquement le devenir des cellules bêta. On constate que le GABA a pour effet d'entraîner une **augmentation de la taille** de l'îlot de Langerhans, due à une augmentation du nombre de ses cellules, et en particulier celle des cellules bêta (de 8 à 20 sur le schéma).
- On considère maintenant le devenir des cellules alpha et des cellules bêta. Le GABA a pour effet d'augmenter le nombre de cellules produisant de l'insuline. Toutes les cellules sécrétrices d'insuline apparues sous l'action du GABA ont sécrété initialement du glucagon : elles étaient donc des **cellules alpha**.
- Le GABA a pour effet :
  - d'augmenter le nombre de cellules alpha à partir des cellules alpha pré-existantes ;
  - de provoquer la transformation de ces nouvelles cellules  $\alpha$  en cellules  $\beta$ .

On constate qu'il reste un fond de cellules alpha, ce qui explique la sécrétion permanente de glucagon par le pancréas.

## Conclusion

Le diabète de type 1 est caractérisé par la disparition plus ou moins complète des cellules bêta et la persistance de cellules alpha. La disparition des cellules bêta impose le traitement astreignant par injections plus ou moins fréquentes d'insuline.

Si les résultats obtenus chez la souris sont transposables à l'homme, on peut penser que l'utilisation du GABA chez les diabétiques de type 1 peut provoquer la multiplication des cellules alpha persistantes et leur transformation en cellules bêta (ce qui représente un changement de phénotype des cellules alpha).

Les cellules bêta ainsi restaurées, en produisant de l'insuline, pourraient permettre de supprimer les injections quotidiennes de cette hormone.



## Obésité et diabète de type 2

Les épidémies mondiales de diabète de type 2 et d'obésité semblent suivre la même progression. Si tous les obèses ne deviennent pas diabétiques, 80 % des individus qui développent cette maladie souffrent au préalable d'obésité. Ce constat suggère que l'obésité augmente le risque de contracter un diabète de type 2.

À un stade avancé de la maladie, les personnes diabétiques de type 2, obèses ou non, devront être soignées, par des injections d'insuline.

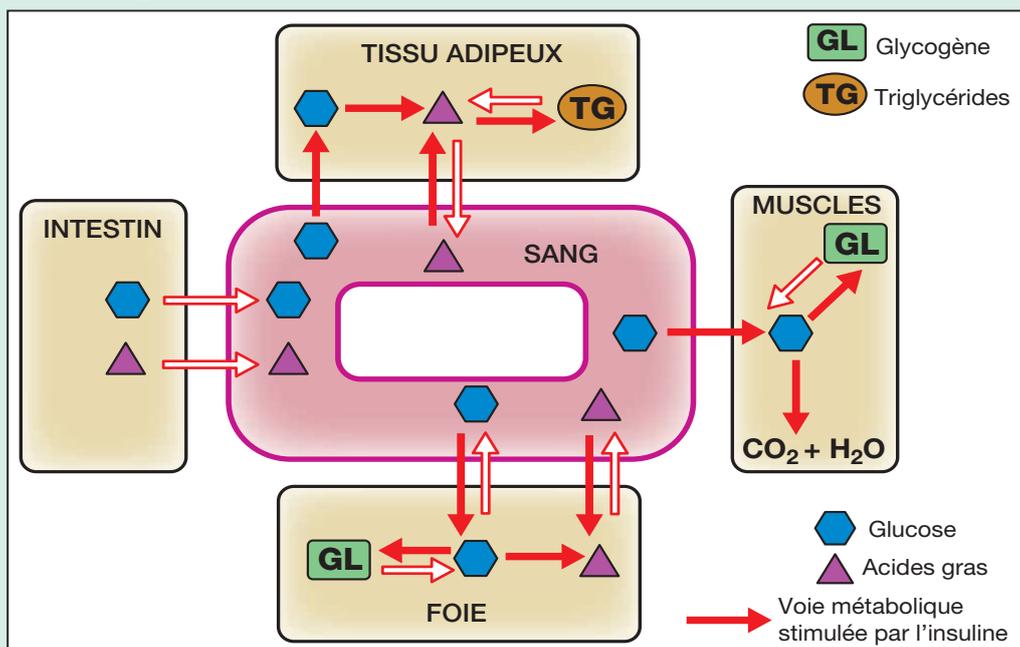
► À partir de l'exploitation des documents et de vos connaissances, expliquez les mécanismes conduisant un individu obèse à développer un diabète de type 2 et justifiez la thérapie par des injections d'insuline à un stade avancé de la maladie.

La conclusion pourra prendre la forme d'un schéma bilan.

### DOCUMENT DE RÉFÉRENCE

#### Rôle de l'insuline dans le métabolisme cellulaire

Ayant des récepteurs à l'insuline, le foie, les muscles et le tissu adipeux sont des organes cibles.



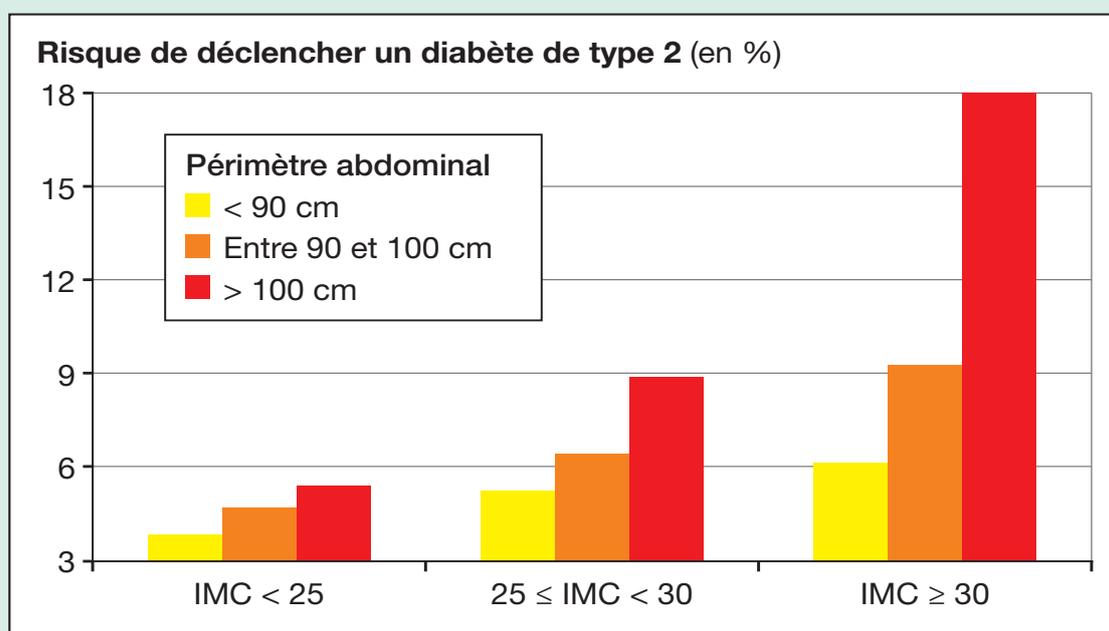
**DOCUMENT 1** **Obésité et diabète de type 2**

L'obésité, qui se caractérise par un excès de tissu adipeux réparti en différents endroits de l'organisme, se définit par deux marqueurs :

– l'indice de masse corporelle (IMC), dont la valeur est obtenue par le rapport de la masse de la personne (en kg) sur le carré de sa taille (en  $m^2$ ) ;

– le périmètre abdominal, qui correspond à la mesure de la circonférence de l'abdomen (en cm).

Une personne est identifiée comme obèse si son IMC est supérieur à  $30 \text{ kg/m}^2$ , et l'on parle plus spécifiquement d'obésité abdominale quand son périmètre abdominal est supérieur à 94 cm (pour un homme).

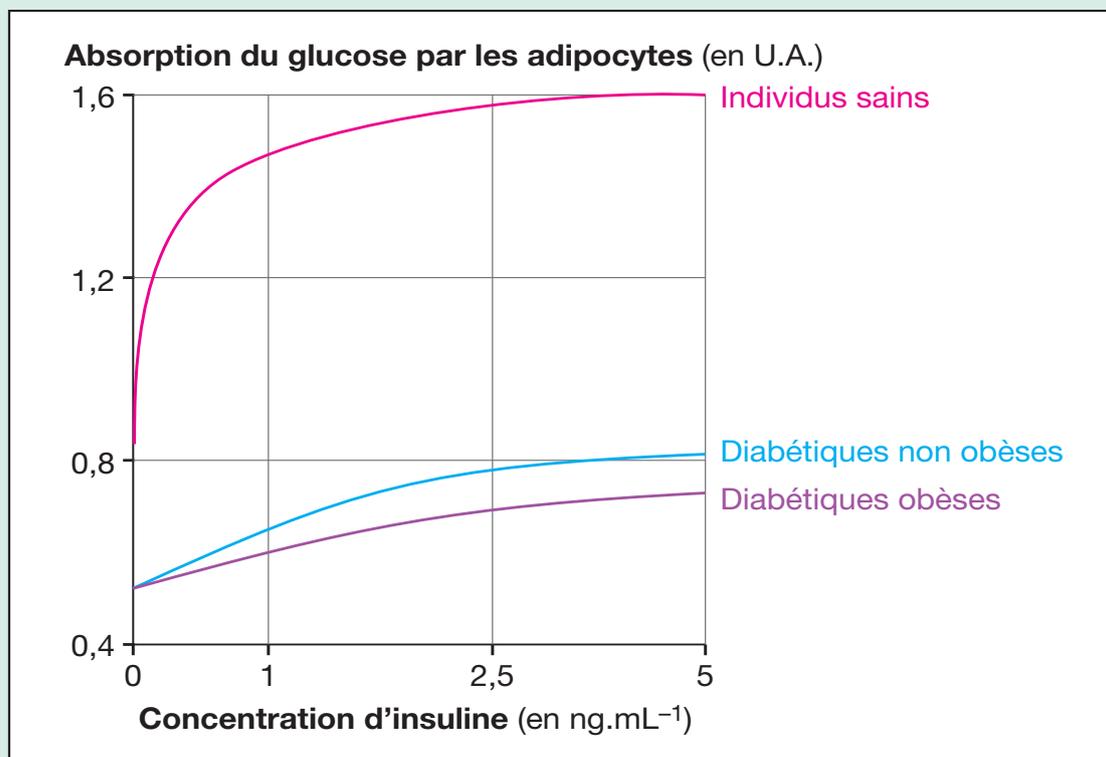


**Graphique présentant le risque de déclenchement d'un diabète de type 2 selon le périmètre abdominal et l'IMC (étude menée pendant treize ans sur 27 700 hommes)**

D'après Y. Wang *et al.*, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2005

**DOCUMENT 2** Sensibilité du tissu adipeux à l'action de l'insuline

Un protocole consiste à mesurer, *in vitro*, l'absorption de glucose par des cellules du tissu adipeux (les adipocytes) en fonction de la concentration d'insuline perfusée.

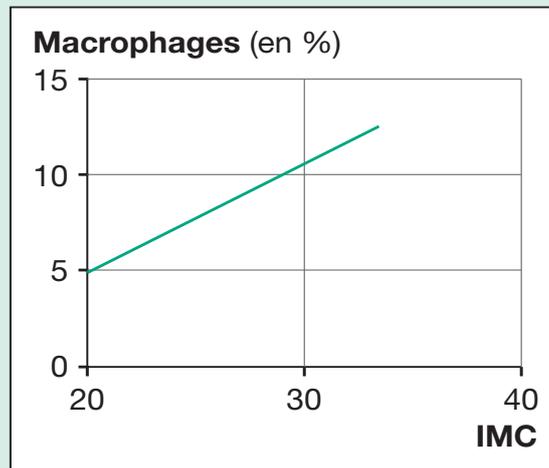


Ces résultats obtenus *in vitro* sont équivalents à ce qu'il se passe en réalité dans le tissu adipeux et permettent d'évaluer sa sensibilité à l'action de l'insuline.

D'après J. M. Olefsky *et al.*, *The American Journal of Medicine*, 1985

**DOCUMENT 3****Évolution du pourcentage de macrophages du tissu adipeux viscéral en fonction de l'IMC**

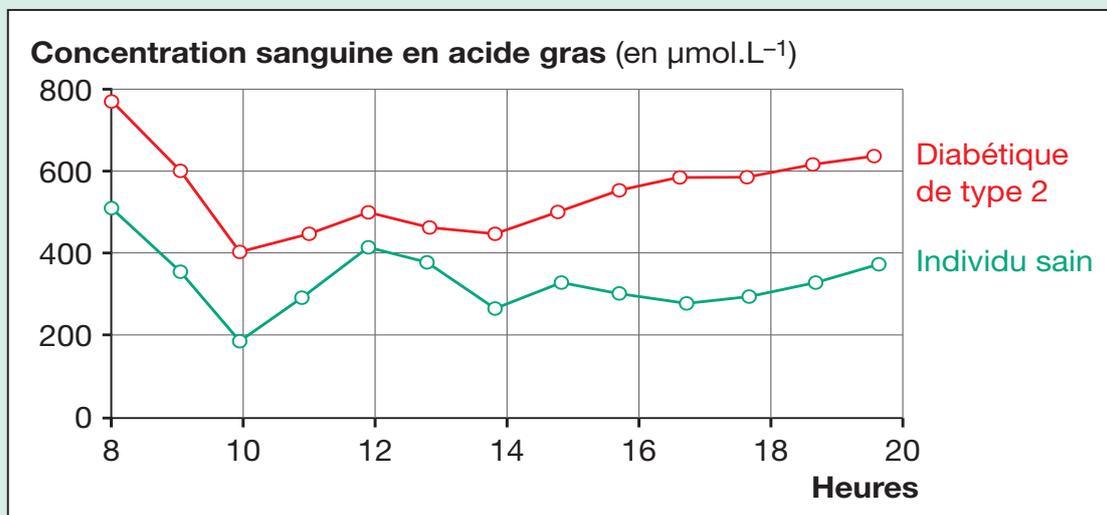
Le tissu adipeux viscéral, situé au niveau de l'abdomen, est constitué d'adipocytes remplis de lipides et d'un ensemble de cellules comprenant notamment des macrophages.



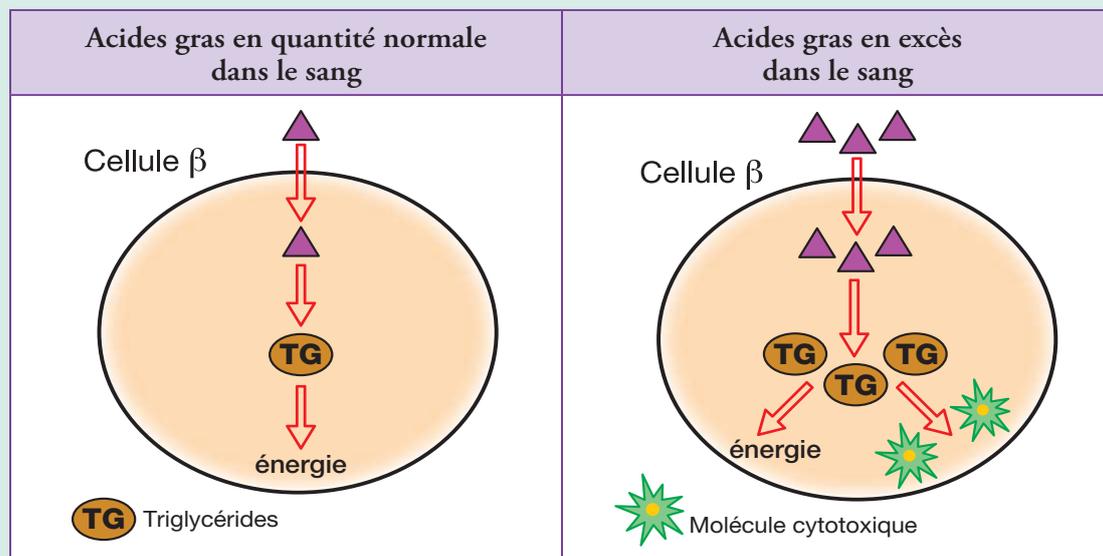
Ces macrophages sécrètent des médiateurs chimiques de l'inflammation parmi lesquels le  $\text{TNF}\alpha$  et l'interleukine 6, qui favorisent l'insulinorésistance, définie comme une baisse de la sensibilité à l'insuline des tissus cibles.

D'après Curat C *et al.*, *Diabetologia*, 2006

SPÉCIALITÉ

**DOCUMENT 4****Les effets des acides gras circulants****a. Variations au cours d'une journée de la concentration sanguine en acides gras**

### b. Effets des acides gras sur la cellule $\beta$ des îlots de Langerhans du pancréas



Les molécules cytotoxiques peuvent provoquer la mort d'une cellule.

D'après J. Girard, *Médecine Sciences*, 2003

## LES CLÉS DU SUJET

### ■ Comprendre le sujet

- Il s'agit d'expliquer comment l'obésité, et en particulier l'obésité abdominale, prédisposent à l'apparition d'un diabète de type 2 et contribuent à l'aggravation de la maladie au cours de son évolution.
- L'ordre des documents indique les points à dégager : analyse des données statistiques montrant que l'obésité est un facteur de prédisposition au diabète, implication de l'obésité dans le développement d'une insulino-résistance, puis toxicité des acides gras abondants chez les diabétiques de type 2 vis-à-vis des cellules pancréatiques sécrétrices d'insuline.

### ■ Mobiliser ses connaissances

- Le déclenchement des diabètes est lié à des facteurs génétiques et environnementaux.
- Le diabète de type 2 résulte d'une insulino-résistance des organes cibles de l'insuline (foie, muscles, tissu adipeux) et est aggravé tardivement par une déficience de la sécrétion insulinique.

**CORRIGÉ 38**

On estime que l'obésité fait partie des facteurs qui prédisposent à l'apparition d'un diabète de type 2. Nous allons extraire des documents les arguments qui vont dans le sens de cette affirmation et les mécanismes par lesquels l'obésité agit.

## I. Les relations entre obésité et diabète de type 2 (document 1)

- À périmètre abdominal identique, le risque de déclencher un diabète de type 2 augmente avec l'indice de masse corporelle (IMC). Cela est d'autant plus vrai que le périmètre abdominal est important.
- Pour un IMC déterminé, le risque est d'autant plus grand que le périmètre abdominal est important.
- Un périmètre abdominal important (signe d'une obésité probable) représente donc un risque augmenté d'apparition d'un diabète de type 2. Le risque est maximal lorsque sont associés un IMC supérieur à  $30 \text{ kg/m}^2$  et un périmètre abdominal supérieur à 100 cm.
- Une valeur du périmètre abdominal supérieure à 100 cm expose particulièrement aux risques de développement d'un diabète de type 2 : à un IMC caractéristique d'un individu obèse (supérieur à 30), le risque fait plus que doubler pour un périmètre abdominal supérieur à 100 cm par rapport à un périmètre abdominal compris entre 90 et 100 centimètres.

L'obésité abdominale prédispose donc fortement au diabète de type 2.

## II. Obésité et résistance à l'insuline

Le document de référence indique que le tissu adipeux est un organe cible de l'insuline.

### 1. Insulinorésistance des organes cibles chez les diabétiques de type 2 (document 2)

- On constate que, chez tous les individus non diabétiques, l'absorption du glucose par les adipocytes s'élève avec l'augmentation de la concentration en insuline.

L'insuline stimule donc la pénétration du glucose dans les cellules cibles que sont les adipocytes.

- Le document montre également que, quelle que soit la concentration en insuline, l'absorption du glucose par les adipocytes des individus diabétiques est très inférieure à celle observée chez les individus non diabétiques.

Les adipocytes des individus diabétiques répondent donc moins bien à l'insuline que ceux des individus non diabétiques : **les adipocytes d'une personne diabétique sont insulino-résistants.**

- La diminution de la perméabilité au glucose est un élément contribuant à l'hyperglycémie, donc au diabète de type 2.

- Cette insulino-résistance est un peu plus importante chez les diabétiques obèses que chez les diabétiques non obèses.

## 2. L'obésité facteur de l'insulino-résistance (document 3)

- Le **pourcentage de macrophages présents dans le tissu adipeux viscéral est d'autant plus important que l'IMC est élevé.** Pour un IMC supérieur à 30, le pourcentage de macrophages est plus que doublé par rapport à celui d'un individu non obèse.

- Or les macrophages sécrètent des médiateurs chimiques qui favorisent l'insulino-résistance de tous les organes cibles.

Ainsi, en entraînant l'augmentation de la population de macrophages du tissu adipeux viscéral, l'obésité (IMC supérieur à 30) est un **facteur favorisant l'apparition de l'insulino-résistance**, et donc celle d'un diabète de type 2.

## III. Acides gras et cellules bêta du pancréas (document 4)

- Le **document 4a** indique que durant la journée (de 8 heures à 20 heures), la concentration en acides gras d'un individu diabétique de type 2 est toujours supérieure à celle d'une personne non diabétique (deux fois supérieure en moyenne).

- Le **document 4b** montre quant à lui que chez une personne non diabétique, les acides gras pénètrent dans les cellules bêta du pancréas et, après stockage sous forme de triglycérides, sont utilisés comme **source d'énergie** par ces cellules.

- Ce même document indique que, dans le cas d'un diabète de type 2, les **acides gras en excès** pénètrent en plus grande quantité dans la cellule bêta et leur métabolisme conduit alors à la **formation de molécules toxiques pour les cellules bêta.**

Les acides gras en excès, par leur cytotoxicité, peuvent à la longue **provoquer une diminution du nombre de cellules bêta sécrétrices d'insuline.**

## Bilan

- 80 % des individus atteints d'un diabète de type 2 sont obèses : **l'obésité favorise l'apparition de ce type de diabète.**
- La première cause du diabète de type 2 est **l'insulinorésistance**. Celle-ci est provoquée chez les obèses par l'infiltration, dans le tissu adipeux, de macrophages qui sécrètent des médiateurs chimiques rendant les cellules cibles de l'insuline résistantes à son action. Cela tend à générer une **hyperglycémie** qui, dans un premier temps, est compensée par une **sécrétion accrue d'insuline**.
- Du fait de l'abondance du tissu adipeux chez les obèses, la teneur en acides gras du sang est élevée. L'utilisation par les cellules bêta du pancréas de ces acides gras entraîne une **destruction progressive des cellules bêta**. Au bout d'un certain temps, **la production d'insuline baisse et ne peut plus compenser l'insulinorésistance**.
- Le traitement du diabète de type 2 nécessite alors des **injections d'insuline** afin de compenser le déficit de production de cette hormone par le pancréas.





# III. S'entraîner aux QCM



## Tout le programme

### ■ QCM

► Indiquez la proposition exacte pour chaque question.

#### Brassage génétique – Évolution

1. Le zygote formé par fécondation :
  - a) contient une combinaison unique et nouvelle d'allèles.
  - b) possède deux allèles identiques de chaque gène.
  - c) possède  $2n$  chromosomes résultant de la fusion des chromosomes maternels et paternels.
  - d) contient une combinaison allélique identique aux autres descendants du couple.
2. Au cours de l'histoire des eucaryotes :
  - a) il n'y a eu que des innovations évolutives apparues par mutations et ensuite transmises verticalement de génération en génération au sein de l'espèce puis d'espèces en espèces.
  - b) des phénomènes de symbiose sont intervenus mais pas d'endosymbiose.
  - c) des phénomènes ont, chez certains eucaryotes, doublé le nombre de chromosomes.
  - d) les mutations ayant affecté les gènes n'ont modifié que la séquence des protéines codées par les gènes.
3. La réplication de l'ADN a lieu :
  - a) entre les deux divisions de la méiose.
  - b) uniquement avant une mitose.
  - c) uniquement avant une méiose.
  - d) avant la première division de la méiose.
4. Lors d'une méiose se déroulant sans anomalie, il peut s'effectuer :
  - a) un brassage intrachromosomique entre chromosomes non homologues.
  - b) un brassage interchromosomique entre chromosomes homologues.
  - c) un brassage interchromosomique puis un brassage intrachromosomique.
  - d) un brassage intrachromosomique puis un brassage interchromosomique.

5. On croise une drosophile femelle aux ailes longues et au corps gris, avec un mâle aux ailes vestigiales et au corps noir. La femelle est hétérozygote pour les deux gènes.

On a obtenu 4 sortes de phénotypes en quantités égales : 25 % ailes longues, corps gris ; 25 % ailes longues, corps noir ; 25 % ailes vestigiales corps gris ; 25 % ailes vestigiales corps noir.

Les données indiquent que :

- a) le caractère ailes longues est récessif.
- b) le mâle est hétérozygote.
- c) les 2 gènes sont situés sur le même chromosome.
- d) le résultat s'explique par le brassage interchromosomique ayant lieu durant des méioses chez la femelle.

6. Le genre *Homo* :

- a) est constitué par l'Homme et les grands singes actuels.
- b) correspond à un groupe d'êtres vivants dont la biodiversité est maximale à l'époque actuelle.
- c) est associé à la production d'outils complexes.
- d) est apparu il y a environ 55 à 60 millions d'années.

### La vie fixée des plantes

7. En relation avec la vie fixée, les plantes ont développé :

- a) un système racinaire permettant de prélever du  $\text{CO}_2$  dans le sol.
- b) un système racinaire qui, par photosynthèse, libère du dioxygène dans le sol.
- c) un système aérien permettant des échanges d'ions, d'eau et de gaz avec l'air.
- d) un système aérien et un système souterrain pouvant échanger de la matière par un système vasculaire.

8. Les plantes possédant des nouvelles propriétés peuvent être obtenues par :

- a) le croisement de variétés différentes et homozygotes pour obtenir des hybrides homozygotes.
- b) le croisement de variétés différentes et homozygotes pour obtenir des hybrides hétérozygotes.
- c) l'autopollinisation de plantes homozygotes.
- d) la pollinisation d'une variété intéressante par des insectes.

9. Le pollen :

- a) correspond au gamète femelle.
- b) est produit par les étamines.
- c) représente l'embryon de la future graine.
- d) est toujours transporté par les insectes.



**10.** Le fruit :

- a)** contient une quantité variable d'ovules.
- b)** contient une quantité variable de graines.
- c)** se forme seulement à partir de l'ovule.
- d)** se forme avant la pollinisation.

**11.** Considérons une plante dont certains pieds possèdent uniquement des fleurs à étamines sans pistil alors que d'autres pieds n'ont que des fleurs à pistil sans étamines.

D'une telle plante, on peut dire :

- a)** que tous les pieds peuvent avoir des fruits.
- b)** qu'il peut y avoir une autopolinisation.
- c)** que la fécondation n'a lieu que sur certains pieds.
- d)** que chaque pied est bisexué.

### **Le domaine continental et sa dynamique**

**12.** Dans les zones de subduction :

- a)** la lithosphère océanique chevauche la lithosphère continentale.
- b)** la lithosphère océanique est moins dense qu'au niveau de la zone d'accrétion.
- c)** la lithosphère océanique plonge sous une autre lithosphère, le plus souvent continentale.
- d)** La lithosphère continentale plonge si elle est plus dense que la lithosphère océanique.

**13.** Dans les zones de subduction, on observe généralement :

- a)** une activité magmatique générant un volcanisme de type basaltique et des roches de type granitoïde.
- b)** une activité magmatique générant un volcanisme de type andésitique associée à des empilements de basaltes en coussins.
- c)** un métamorphisme au niveau de la plaque plongeante provoquant la déshydratation de la péridotite mantellique.
- d)** un métamorphisme au niveau de la plaque plongeante libérant de l'eau et provoquant la fusion partielle de la péridotite mantellique.

**14.** La péridotite est :

- a)** la roche principale du manteau.
- b)** une roche volcanique.
- c)** exclusivement présente dans l'asthénosphère.
- d)** une roche riche en quartz.



- 15.** Les granites qui affleurent dans les chaînes de collision anciennes :
- a)** sont des roches résultant de la fusion partielle de la péridotite mantellique.
  - b)** sont visibles en surface car ils résultent de la solidification d'un magma épanché en surface.
  - c)** sont constitués par un assemblage de minéraux tous très altérables sous l'action de l'eau.
  - d)** peuvent être transformés sur plusieurs mètres d'épaisseur en une roche meuble, l'arène.
- 16.** Le magma formé actuellement dans les zones de subduction :
- a)** provient de la fusion totale de la croûte océanique qui subducte.
  - b)** se forme à partir du même mécanisme que le magma engendré à l'axe des dorsales.
  - c)** se forme grâce à l'eau libérée par la transformation métamorphique des roches de la croûte océanique en subduction.
  - d)** est à l'origine d'un volcanisme explosif engendrant des roches, les granodiorites.
- 17.** La lithosphère océanique :
- a)** subit un métamorphisme à la dorsale qui la déshydrate et un métamorphisme au cours de sa subduction qui la réhydrate (formation de minéraux ayant incorporé de l'eau).
  - b)** augmente d'épaisseur en s'éloignant de la dorsale par accroissement de sa croûte.
  - c)** acquiert, lorsqu'elle est âgée, une densité supérieure à celle de l'asthénosphère.
  - d)** contribue à la formation de magmas anhydres (sans eau) dans les zones de subduction.
- 18.** L'épaisseur de la croûte d'une chaîne de collision :
- a)** est la même dans les chaînes de montagnes jeunes et anciennes.
  - b)** diminue lorsqu'à la fin de la phase tectonique, l'érosion commence à agir.
  - c)** peut atteindre, dans une chaîne de montagnes jeunes, cinq fois celle de la croûte continentale moyenne.
  - d)** est due en grande partie au chevauchement d'écaillés de croûte formées lors de la collision.



### Géothermie et propriétés thermiques de la Terre

19. La convection thermique :

- a) est un transfert thermique qui n'a lieu que dans les fluides, liquides et gaz.
- b) a lieu dans la lithosphère.
- c) assure un transfert de chaleur par l'intermédiaire d'un transport de matière.
- d) assure un transfert de chaleur moins efficace que la conduction.

20. L'énergie géothermique exploitable par l'Homme :

- a) est constante d'une région à l'autre.
- b) est maximale dans les régions à gradient géothermique très faible.
- c) est optimale en Islande au niveau d'un rift.
- d) contribue fortement à la couverture énergétique de l'humanité.

### Quelques aspects de la réaction immunitaire

21. La vaccination :

- a) consiste à injecter des produits immunogènes et pathogènes.
- b) mobilise la réponse innée et adaptative.
- c) contient des adjuvants qui déclenchent une réponse adaptative nécessaire à l'installation de la réponse innée.
- d) favorise la production d'antigènes par l'organisme.

22. L'immunité innée :

- a) n'implique pas de reconnaissance des micro-organismes.
- b) s'accompagne de la propriété de mémoire d'une première infection par un micro-organisme.
- c) n'existe que chez les Vertébrés.
- d) est indispensable à la réaction immunitaire adaptative.

23. La phagocytose :

- a) est réalisée par les seuls leucocytes polynucléaires.
- b) ne se réalise que dans le sang.
- c) n'implique pas des récepteurs cellulaires.
- d) est efficace dans la lutte contre les bactéries grâce à la présence dans le cytoplasme des phagocytes de granules riches en substance bactéricide et en enzymes.

24. La réaction inflammatoire :

- a) n'implique pas de mécanismes de reconnaissance.
- b) est due à la production et la sécrétion de cytokines, molécules pro-inflammatoires.
- c) n'a aucun effet sur les leucocytes polynucléaires.
- d) est toujours dangereuse pour l'organisme.



**25.** Les lymphocytes mémoires :

- a)** sont des cellules de l'immunité innée.
- b)** sont des cellules effectrices formées à la suite d'une réaction immunitaire.
- c)** jouent un rôle important dans l'immunité résultant des vaccinations.
- d)** sont uniquement des cellules appartenant à la lignée des lymphocytes B.
- e)** sont moins nombreux que les lymphocytes naïfs dont ils dérivent.

### **Neurone et fibre musculaire : la communication nerveuse**

**26.** Le réflexe myotatique :

- a)** fait intervenir une seule synapse entre deux neurones moteurs.
- b)** fait intervenir une seule synapse entre deux neurones sensoriels.
- c)** nécessite l'intervention de plusieurs synapses entre neurones moteurs.
- d)** fait intervenir une seule synapse entre un neurone sensoriel et un neurone moteur.

**27.** Le neurone moteur conduit un message nerveux :

- a)** codé en fréquence de potentiel d'action vers les centres nerveux.
- b)** codé en amplitude de potentiel d'action vers le muscle effecteur.
- c)** codé en fréquence de potentiel d'action vers le muscle effecteur.
- d)** présentant toujours la même fréquence et la même amplitude des potentiels d'action.

**28.** Au niveau du cerveau, les cartes motrices :

- a)** sont innées, présentes dès la naissance.
- b)** restent identiques tout au long de la vie de l'individu.
- c)** sont identiques chez tous les individus d'une même espèce.
- d)** peuvent évoluer en fonction de l'apprentissage.

**29.** Les neurones afférents du réflexe myotatique :

- a)** ont leurs corps cellulaires situés dans la substance grise de la moelle épinière.
- b)** sont activés par l'étirement du muscle qu'ils innervent.
- c)** ont leurs corps cellulaires recouverts de boutons synaptiques.
- d)** ont un seul prolongement qui bifurque, chacune des deux bifurcations libérant un neurotransmetteur à son extrémité lorsque le neurone émet un potentiel d'action.

**30.** Les neurones efférents du cortex moteur droit :

- a)** sont situés dans le lobe pariétal de l'hémisphère cérébral droit.
- b)** ont des axones dont la longueur ne dépasse pas 10 cm chez l'adulte.
- c)** ont des axones qui innervent directement les fibres musculaires dont ils commandent la contraction.
- d)** commandent les muscles de la partie gauche du corps.



**LES CLÉS DU SUJET**

- C'est un exercice de restitution de connaissances uniquement sous forme de QCM et très complet car il recouvre **tout le programme**. Il est peu probable qu'il y ait souvent des exercices I de ce type.
- C'est néanmoins un excellent support pour une révision rapide de tout le programme, voire d'une partie seulement (la partie géologie par exemple). Douze items se rapportent à la partie « Génétique et évolution » dont six sur la vie fixée des plantes ; sept items se rapportent au « Domaine continental et sa dynamique », trois items ont trait aux « Enjeux planétaires et contemporains » (deux pour la géothermie et un pour la plante domestiquée) ; cinq items se rapportent à la partie « Immunologie » et cinq à la « Neurophysiologie ».
- Ce sont des items sans support documentaire de sorte que vous devez confronter les propositions avec vos connaissances pour en apprécier la validité.

**CORRIGÉ 39**

- 1. a) Exact.**
- b) Faux.** Les allèles peuvent être identiques ou différents.
- c) Faux.** Les chromosomes paternels et maternels sont réunis au sein d'un même noyau mais ne fusionnent pas.
- d) Faux.** La combinaison allélique d'un zygote est unique.
- 2. c) Exact.** Ce sont les mécanismes intervenant dans la polyploïdisation.
- a) Faux.** Les génomes des eucaryotes ont aussi intégré des gènes venant d'autres organismes, notamment de l'ADN viral.
- b) Faux.** Des phénomènes de symbiose ont certes contribué à la diversification des eucaryotes, mais les plus importants sont sans doute les phénomènes d'endosymbiose. Par exemple le génome mitochondrial (et une partie du génome nucléaire) est d'origine bactérienne et résulte d'une endosymbiose d'une bactérie avec un eucaryote.
- d) Faux.** Pour de nombreux gènes de développement, les mutations ayant eu un impact évolutif, notamment sur la morphologie de l'organisme, sont celles qui affectent les régions régulatrices qui contrôlent l'expression des gènes.

**3. d) Exact.** La réplication de l'ADN a lieu avant la première division de la méiose et il n'y a pas de réplication de l'ADN entre les deux divisions.

**4. d) Exact.** Le brassage intrachromosomique précède le brassage interchromosomique (ce qui exclut la proposition **c**).

**a) Faux.** Le brassage intrachromosomique se fait entre chromosomes homologues.

**b) Faux.** Le brassage interchromosomique implique des paires de chromosomes homologues et non une seule paire de chromosomes homologues.

**5. d) Exact.** Car la femelle a produit 4 sortes de gamètes en quantités égales.

**a) Faux.** Le caractère « aile longue » est dominant car il est apparent chez la femelle hétérozygote.

**b) Faux.** Le mâle est homozygote car il présente les 2 caractères récessifs.

**c) Faux.** Le croisement est un test-cross et le fait que les 4 phénotypes soient produits en quantités égales indique que ces gènes sont situés sur 2 chromosomes différents.

**6. c) Exact.** À cause du mot « complexe » car les grands Singes sont capables de fabriquer des outils simples.

**a) Faux.** Les grands Singes africains et asiatiques ne font pas partie du genre *Homo*.

**b) Faux.** Il y a 50 000 ans, existaient plusieurs types d'*Homo* (*Homo sapiens*, homme de Néandertal, homme de Flores, homme de Denisova...) contre un seul actuellement (*H. sapiens*)

**d) Faux.** Il est apparu il y a un peu plus de 2 Ma seulement.

**7. d) Exact.** Par l'intermédiaire des sèves brute et élaborée (des racines au feuilles et inversement).

**a) Faux.** Par la respiration, les racines rejettent du  $\text{CO}_2$  dans le sol.

**b) Faux.** La photosynthèse a lieu dans les organes aériens et non dans le système racinaire, dépourvu de chlorophylle.

**c) Faux.** Le système aérien ne permet pas les échanges d'ions avec l'air.

**8. b) Exact.**

**a) Faux.** Des hybrides sont toujours hétérozygotes.

**c) Faux.** Une plante homozygote produit uniquement des gamètes mâles et femelles ayant le même génotype.

**d) Faux.** Le mode de pollinisation n'intervient pas sur les propriétés de la plante.

**Attention !**

Lisez attentivement les propositions. Ici, le mot « uniquement » exclut les propositions b et c.



**9. b) Exact.**

**a) Faux.** Le pollen est le vecteur du gamète mâle.

**c) Faux.** L'embryon résulte de la fécondation.

**d) Faux.** Il peut aussi être transporté par le vent.

**10. b) Exact.**

**a) Faux.** Un fruit ne contient plus d'ovules car ils ont été transformés en graines après fécondation.

**c) et d) Faux.** Le fruit se forme à partir de l'ovaire de la fleur et après pollinisation.

**11. c) Exact.**

Les autres propositions sont fausses. En effet, les pieds qui n'ont que des fleurs à étamines ne peuvent avoir de fruits, la pollinisation est obligatoirement croisée car chaque pied est unisexué.

**12. c) Exact.**

**a) Faux.** C'est l'inverse.

**b) Faux.** C'est l'inverse, la densité (masse volumique) de la lithosphère océanique augmente en s'éloignant de la dorsale.

**d) Faux.** Ce n'est jamais le cas car la densité de la lithosphère continentale est toujours inférieure à celle de la lithosphère océanique.

**13. d) Exact.**

**a) Faux.** Le volcanisme est de type andésitique et non basaltique.

**b) Faux.** Les basaltes en coussin sont océaniques.

**c) Faux.** Il y a hydratation de la péridotite mantellique et non déshydratation.

**14. a) Exact.**

**b) Faux.** Ce n'est pas une roche microlithique et aucun magma n'engendre de la péridotite par refroidissement.

**c) Faux.** La péridotite constitue également le manteau lithosphérique.

**d) Faux.** La péridotite ne contient pas de quartz ; elle est constituée essentiellement d'olivine, de pyroxène et d'un peu de feldspath.

**15. d) Exact.**

**a) Faux.** Les granites des chaînes de collision ont pour origine la fusion partielle des composants de la croûte continentale (gneiss ; granites).

**b) Faux.** Ils proviennent d'un magma cristallisé en profondeur : ce sont des roches plutoniques (entièrement grenues).

**c) Faux.** Le quartz est peu altéré alors que feldspaths et micas le sont.

**16. c) Exact.** Voir commentaire **b**.

**a) Faux.** Actuellement, il ne provient pas de la fusion de la croûte océanique qui subducte mais de la fusion partielle de la péridotite du manteau de la plaque chevauchante.



**b) Faux.** Les magmas formés dans les zones de subduction et à l'axe des dorsales résultent de la fusion partielle de la péridotite mantellique. À l'axe de la dorsale, la fusion partielle de la péridotite est due à une diminution de pression (remontée de l'asthénosphère) alors que dans les zones de subduction la fusion partielle est due à l'eau libérée par le métamorphisme de la croûte océanique en subduction.

**d) Faux.** Le magma est bien à l'origine d'un magmatisme explosif, mais ce volcanisme n'engendre pas des granodiorites (= granitoïdes), roches plutoniques ; il engendre des andésites et rhyolites, roches magmatiques effusives.

**17. c) Exact.** C'est d'ailleurs cela qui peut entraîner la subduction de la lithosphère.

**a) Faux.** C'est l'inverse : le métamorphisme que subit la croûte océanique à la dorsale suite à la circulation de l'eau à son intérieur conduit à un métamorphisme hydrothermal, marqué par la formation de minéraux hydroxylés (eau) comme l'amphibole hornblende. En revanche, le métamorphisme de la croûte en subduction conduit à des minéraux anhydres (grenat et jadéite d'un métagabbro éclogitique par exemple) et libère de l'eau.

**b) Faux.** Elle augmente bien d'épaisseur en s'éloignant de la dorsale mais pas par accroissement de sa croûte. C'est le manteau lithosphérique qui augmente d'épaisseur.

**d) Faux.** La lithosphère océanique en subduction subit un métamorphisme qui libère de l'eau, laquelle provoque la fusion partielle de la péridotite de la plaque chevauchante et donc la genèse d'un magma riche en eau.

**18. d) Exact.**

**a) Faux.** Une chaîne ancienne a une épaisseur moyenne de 30 km contre plus de 50 km pour une chaîne récente.

**b) Faux.** La surrection et l'érosion sont contemporaines.

**c) Faux.** Au maximum un peu plus de deux fois.

**19. c) Exact.**

**a) Faux.** La convection thermique peut aussi avoir lieu dans les solides comme le manteau asthénosphérique. Mais elle est beaucoup plus lente dans ces solides, et n'a de conséquences importantes qu'à l'échelle des temps géologiques.

**b) Faux.** Dans la lithosphère, le transfert thermique s'effectue par conduction.

**d) Faux.** C'est l'inverse.

**20. c) Exact.** Flux géothermique très élevé.

**a) Faux.** Elle est plus forte au niveau d'une zone de subduction (géothermie de haute énergie permettant d'obtenir de l'électricité).

**b) Faux.** C'est l'inverse.

**d) Faux.** Ce sont les énergies fossiles.



**21. b) Exact.**

**a) Faux.** « Pathogène » se dit d'un agent à l'origine d'une maladie.

**c) Faux.** C'est l'inverse : réponse innée nécessaire à l'installation de la réaction adaptative.

**d) Faux.** Les antigènes sont introduits avec le vaccin et non produits par l'organisme.

**22. d) Exact.** La réaction immunitaire innée prépare la réaction immunitaire adaptative.

**a) Faux.** Les macrophages possèdent des récepteurs PRR qui reconnaissent des motifs moléculaires (PAMP) présents chez des micro-organismes variés.

**b) Faux.** Il n'y a pas de mise en mémoire : la réaction innée en réponse à des entrées successives du même pathogène est toujours la même.

**c) Faux.** Elle existe aussi chez les Invertébrés (et même chez les plantes).

**23. d) Exact.** Cela permet d'ingérer et de digérer les antigènes.

**a) Faux.** Elle est également réalisée par les monocytes-macrophages et les cellules dendritiques.

**b) Faux.** Elle peut avoir lieu dans le sang mais se réalise fondamentalement dans les tissus infectés où migrent les polynucléaires et les monocytes à l'origine des macrophages et des cellules dendritiques.

**c) Faux.** Il existe des récepteurs phagocytaires.

**24. b) Exact.** Après la reconnaissance des organismes infectieux par les macrophages.

**a) Faux.** Les macrophages reconnaissent toujours des motifs des pathogènes.

**c) Faux.** Elle entraîne leur recrutement au niveau du site infectieux.

**d) Faux.** Elle est utile à l'organisme mais peut devenir dangereuse lorsqu'elle est trop importante, généralisée.

**25. c) Exact.** Ils sont responsables d'une réponse rapide et amplifiée en cas d'infection par le pathogène.

**a) Faux.** Ce sont des cellules résultant d'une réaction immunitaire adaptative.

**b) Faux.** Ils sont bien formés à la suite d'une réaction immunitaire (adaptative) mais ne sont pas des cellules effectrices.

**d) Faux.** Il existe des cellules mémoires LB, LT CD4 et LT CD8.

**e) Faux.** C'est l'inverse.

**26. d) Exact.** Le réflexe myotatique est monosynaptique. Il n'y a pas de synapse entre les neurones moteurs ; il n'y en a pas non plus entre neurones sensoriels.

**27. c) Exact.** Un neurone moteur conduit un message vers des effecteurs (muscles...). Les effecteurs répondent en fonction des caractéristiques du

message codé en fréquence (variable) de potentiels d'action d'amplitude invariable.

**a) Faux.** Il conduit le message nerveux vers les muscles effecteurs.

**b) Faux.** L'amplitude des potentiels d'action est invariable.

**d) Faux.** La fréquence est variable, au contraire de l'amplitude.

**28. d) Exact.** Les aires évoluent tout au long de la vie et d'un individu à l'autre en fonction de l'apprentissage, de l'environnement. Elles ne peuvent donc pas être uniquement innées.

**29. b) Exact.**

**a) Faux.** Leur corps cellulaire est situé dans un ganglion de la racine dorsale d'un nerf rachidien.

**c) Faux.** S'il y avait des boutons synaptiques, cela signifierait que des terminaisons axoniques d'autres neurones établissent des contacts synaptiques avec ces neurones ; or ce n'est pas le cas, car ce sont des neurones afférents dont l'activité dépend uniquement du stimulus (étirement du muscle et donc du fuseau neuromusculaire).

**d) Faux.** Seul le prolongement central (vers la moelle) établit des contacts synaptiques avec un motoneurone, donc sécrète un neurotransmetteur.

**30. d) Exact.** Les axones des neurones issus du cortex moteur droit subissent un croisement au niveau du bulbe rachidien et établissent ainsi un contact synaptique avec des motoneurones médullaires du côté gauche.

**a) Faux.** Le cortex moteur est situé dans la région postérieure du cortex frontal et non dans le cortex pariétal.

**b) Faux.** Les axones des neurones corticaux commandant la musculature des membres inférieurs descendent jusque dans la moelle lombaire, ce qui représente beaucoup plus de 10 cm.

**c) Faux.** Les axones des neurones corticaux établissent des synapses avec les motoneurones médullaires et ne vont pas jusqu'aux muscles.

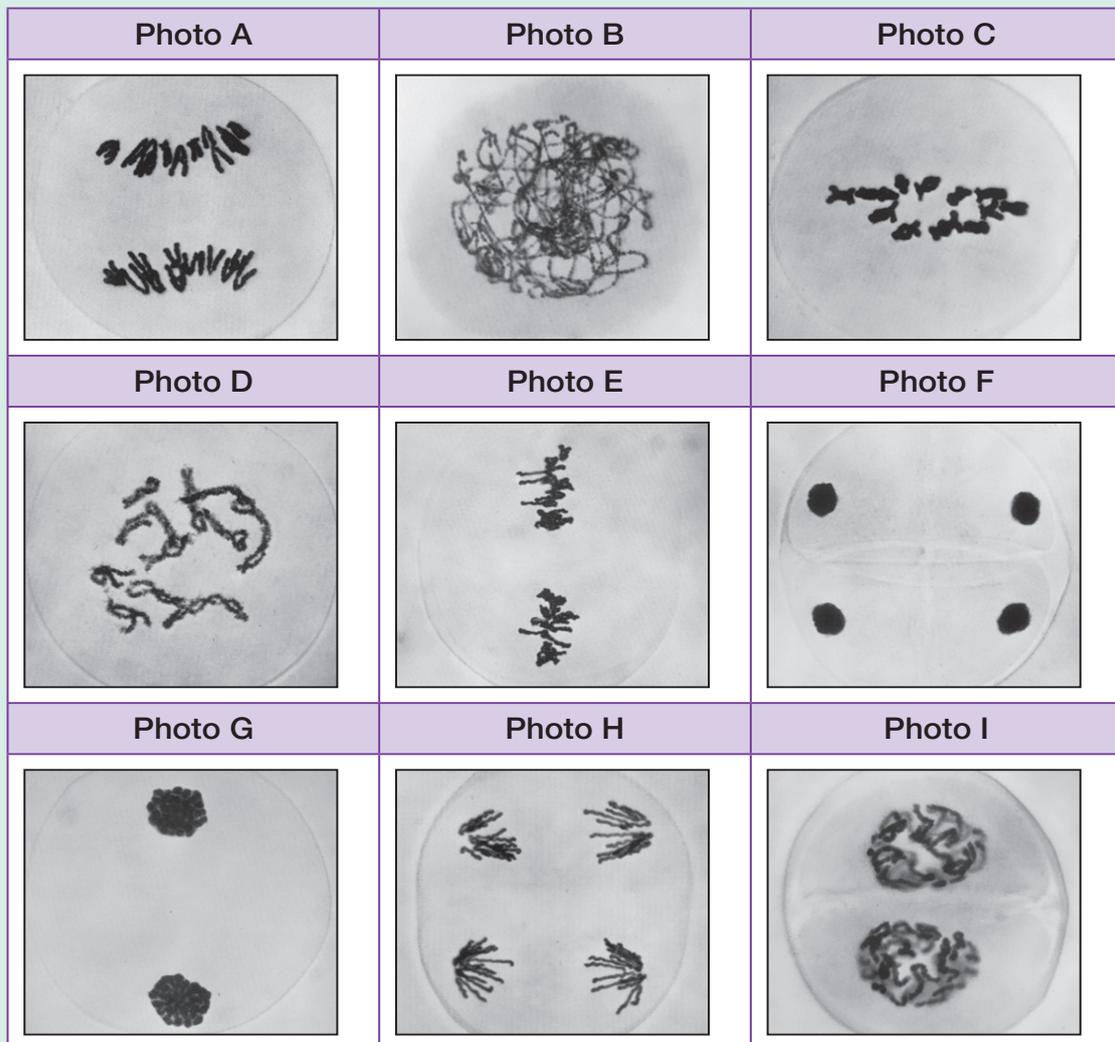


## Méiose dans une cellule d'anthère de lys

La méiose est une division particulière qui permet la production de quatre cellules haploïdes à partir d'une cellule-mère. Elle participe, avec la fécondation, au maintien du caryotype de l'espèce.

## DOCUMENT

### Photographies de la méiose dans une cellule d'anthère de lys



D'après *Looking at chromosomes*, McLeish et Snoad, 1958.

## ► Répondez par vrai ou faux.

- a)** On peut ordonner les photos selon la suite : B, D, C, A, G, I, E, H, F.  
**b)** La photo A correspond à l'anaphase de première division, c'est-à-dire à la séparation des chromosomes homologues à deux chromatides.  
**c)** La photo D est une prophase de première division durant laquelle il peut se produire des chiasmas à l'origine du brassage intrachromosomique.  
**d)** La photo I est une prophase de deuxième division qui fait immédiatement suite à la photo G, télophase de première division. Seule la première division de méiose est précédée de la réplication de l'ADN selon un mode semi-conservatif.

**CORRIGÉ 40****a) Vrai :**

- Le cliché B correspond à un début de prophase : il n'y a qu'une seule cellule, les chromosomes sont visibles mais non différenciés.
  - Le cliché D est la fin de prophase : il n'y a qu'une seule cellule, les chromosomes homologues sont appariés (les chiasmas sont visibles).
  - Le cliché C correspond à une métaphase I : une seule cellule est visible, les chromosomes appariés sont disposés à l'équateur de la cellule.
  - Le cliché A est une anaphase I : il n'y a qu'une seule cellule et il y a un lot de chromosomes à chaque pôle de la cellule.
  - Le cliché G est une télophase I : il y a 2 noyaux (les chromosomes ne sont pas visibles), donc deux cellules.
  - Le cliché I montre deux cellules en prophase de deuxième division (prophase II).
  - Le cliché E montre deux cellules en métaphase II.
  - Sur le cliché H, on voit quatre groupes de chromosomes à une chromatide, il s'agit donc d'une anaphase de deuxième division (fin d'anaphase II).
  - Le cliché F correspond à la télophase II : c'est la fin de la méiose, on distingue 4 cellules avec des noyaux dont les chromosomes ne sont pas visibles.
- b) Vrai.** Voir la réponse à la question a) : l'anaphase I correspond à la séparation des chromosomes homologues.
- c) Vrai.**
- d) Vrai.**



## Les couleurs du pelage des chats « tortie »

Le pelage des chats possède deux types de pigments : l'eumélanine, qui donne une couleur noire, et la phéomélanine, qui donne une couleur rousse. Les chats « tortie » ont un pelage noir et roux. Ils expriment ces deux pigments.

Ces deux pigments sont codés par deux allèles d'un gène porté par le chromosome X. Lorsque l'on croise une femelle « tortie » avec un mâle noir, on obtient 25 % de femelles noires, 25 % de femelles « tortie », 25 % de mâles noirs, et 25 % de mâles roux.

Dans de rares cas, on observe un mâle « tortie » dans la descendance.



Ph © Seregraff/Shutterstock

### ► Répondez par vrai ou faux.

- a) Les allèles codant pour l'eumélanine et la phéomélanine sont codominants.
- b) Le croisement permet de mettre en évidence un brassage interchromosomique.
- c) En absence d'anomalies, seules les femelles peuvent être « tortie ».
- d) Le chat mâle « tortie » est issu de la fécondation d'un gamète anormal présentant un X surnuméraire par un gamète normal.

**CORRIGÉ** 41

**a) Vrai.** Les chats femelles « tortie » ayant un pelage noir et roux synthétisent les deux pigments. Elles sont donc hétérozygotes et ont pour génotype  $XnXr$ . Puisque l'expression des deux allèles  $n$  et  $r$  du gène se traduit dans le phénotype de ces femelles, on peut dire que ces deux allèles sont codominants. À vrai dire, il faudrait nuancer cette conclusion. Dans une cellule de la peau d'une chatte hétérozygote, un seul allèle du gène s'exprime : soit l'allèle  $n$ , soit l'allèle  $r$ . On ne peut donc pas, rigoureusement, parler de codominance. Mais comme l'allèle qui s'exprime varie d'une cellule à l'autre, le pelage montre des zones noires et des zones rousses.

**b) Faux.** La femelle « tortie » a pour génotype  $XnXr$ . À la suite de la séparation des chromosomes homologues, et donc des deux chromosomes  $X$  à la méiose, elle produit 50 % d'ovules  $Xn$  et 50 % d'ovules  $Xr$ . Le mâle noir a pour génotype  $XnY$ . Il produit 50 % de spermatozoïdes possédant le chromosome  $Xn$  et 50 % de spermatozoïdes porteurs du chromosome  $Y$ , mais dépourvus d'allèles du gène en jeu. La rencontre au hasard des gamètes à la fécondation rend compte des phénotypes de la descendance et de leurs proportions. Les résultats du croisement ne suggèrent nullement d'envisager un brassage interchromosomique. D'ailleurs, ce dernier implique que l'on considère les allèles de deux gènes situés sur deux chromosomes différents.

**c) Vrai.** Pour avoir le phénotype « tortie », un chat doit posséder deux chromosomes  $X$ , l'un portant l'allèle  $n$ , l'autre l'allèle  $r$ . Ce ne peut être le cas d'un mâle qui ne possède qu'un seul chromosome  $X$ , et le chromosome  $Y$  ne possède pas d'allèle du gène.

**d) Vrai.** Supposons une anomalie au cours de la première division de la méiose chez un ovocyte de la femelle « tortie », anomalie caractérisée par la non-séparation des deux chromosomes  $X$ , à l'anaphase, qui migrent vers le même pôle. Cette méiose conduira à des ovules possédant deux chromosomes  $X$ , l'un portant l'allèle  $n$ , l'autre l'allèle  $r$ . Supposons que ce type d'ovule soit fécondé par un spermatozoïde portant le chromosome  $Y$ . Le zygote aura le génotype  $XnXrY$ . Du fait des deux allèles  $n$  et  $r$ , il donnera un chat « tortie » et, du fait du chromosome  $Y$ , ce sera un mâle.

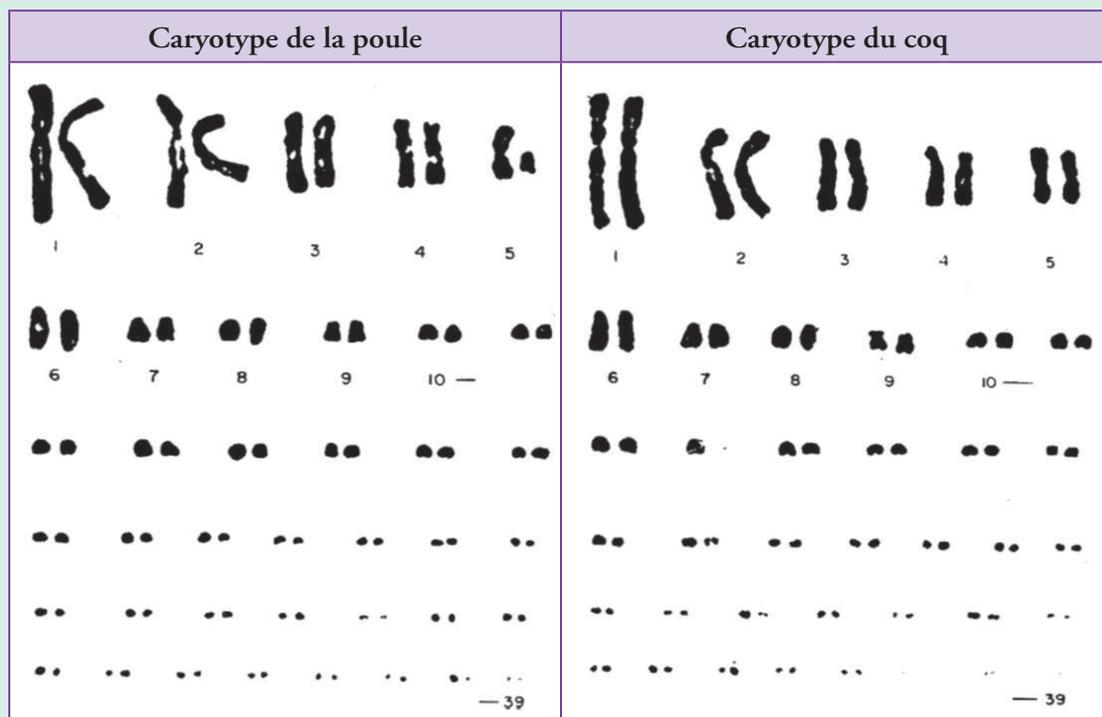


## Le déterminisme du sexe chez les oiseaux

Le caryotype est caractéristique d'une espèce.

Le caryotype du poulet comporte 78 chromosomes ( $2n = 78$ ) répartis en 9 paires de macrochromosomes (dont les gonosomes ZZ ou ZW), comparables en taille à des chromosomes de mammifères, et en 30 paires de microchromosomes quasiment indiscernables les uns des autres.

### DOCUMENT



## ► Répondez par vrai ou faux.

- a) Les chromosomes sexuels constituent la 2<sup>e</sup> paire de chromosomes.
- b) Les poules sont hétérogamiques et possèdent des chromosomes sexuels W et Z.
- c) Si on s'intéresse aux chromosomes sexuels, le coq ne produit qu'une seule catégorie de gamètes, contrairement à l'homme.
- d) Le gène responsable du caractère plumage noir uni /plumage noir strié est porté par le chromosome Z.

**CORRIGÉ** 42

a) **Faux.** Chez le coq comme chez la poule, les deux chromosomes de la deuxième paire sont identiques morphologiquement. Cela exclut que ces chromosomes soient des chromosomes sexuels. En revanche, on voit que les deux chromosomes de la **cinquième paire** chez la poule sont de taille nettement différente alors qu'ils sont identiques chez le coq (et identiques au plus grand chromosome 5 de la poule). Cela indique que les deux chromosomes de la cinquième paire sont les **chromosomes sexuels**.

b) **Vrai.** Les poules possèdent deux chromosomes sexuels différents dénommés **W et Z**. Elles produisent donc deux types d'ovules en ce qui concerne les chromosomes sexuels, les uns porteurs du chromosome **Z**, les autres du chromosome **W**. Cela justifie l'utilisation du terme « hétérogamétique ».

c) **Vrai.** Le coq possède deux chromosomes sexuels identiques et ne produit donc qu'une seule catégorie de gamètes en ce qui concerne les chromosomes sexuels, alors que l'homme en produit deux types, les uns porteurs du chromosome X, les autres du chromosome Y.

d) **Vrai.** Le résultat du croisement dépend du sens du croisement, et le premier croisement montre que le phénotype de la descendance est lié au sexe. C'est un cas d'hérédité liée au sexe, ce qui signifie que le gène en cause est porté par un des **chromosomes sexuels**.

Le deuxième croisement indique que l'allèle « barré » du gène en cause est dominant, et l'allèle noir récessif, et que le coq transmet l'allèle « barré » aussi bien à ses descendants femelles que mâles. En revanche, le premier croisement montre que la poule de phénotype « barré » ne transmet l'allèle « barré » qu'à ses descendants mâles. On peut en conclure que le gène responsable de la couleur du pelage est situé sur le chromosome sexuel Z et absent du chromosome sexuel W. Une poule noire a le génotype  $Zn//W$  et un coq noir le génotype  $Zn//Zn$ .



## Biologie du lichen

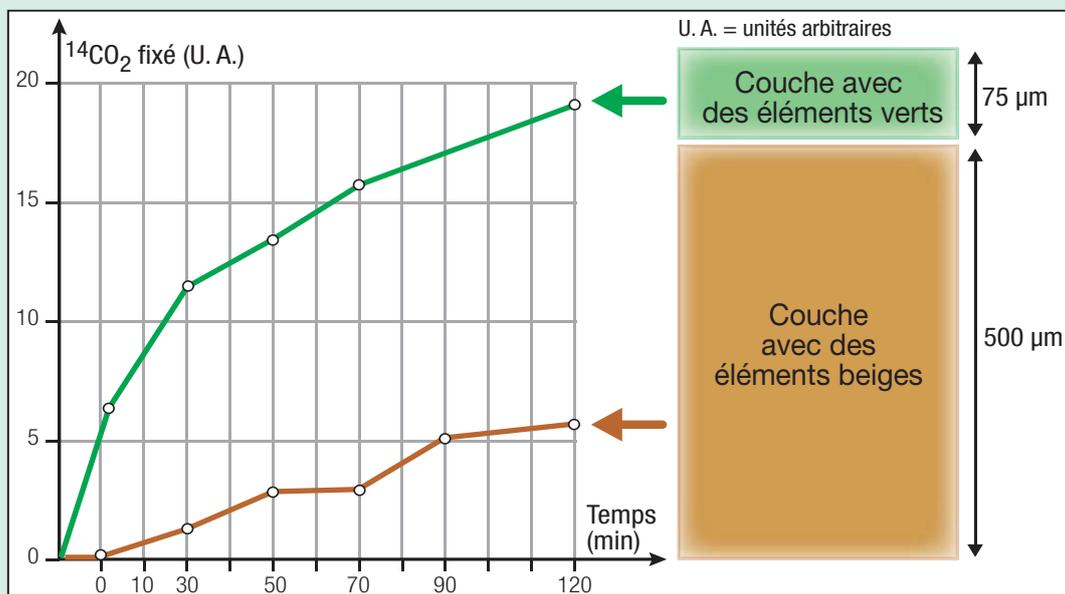
Longtemps considérés comme des végétaux, les lichens sont des organismes pionniers qu'on trouve sur de nombreux supports comme les troncs d'arbre, les murs et les rochers.

Une coupe de lichen fait apparaître deux types de structures : des éléments sphériques et verts contenus dans une matrice filamenteuse beige. Ces éléments peuvent être cultivés séparément.

Afin de déterminer les relations entre ces éléments, on place un lichen dans une enceinte contenant du  $\text{CO}_2$  radioactif. On suit alors l'évolution de la quantité de  $\text{CO}_2$  fixé sous forme de molécule organique complexe (comme du glucose) dans les différentes couches du lichen.

## DOCUMENT

### Évolution de la quantité de $\text{CO}_2$ fixé dans les tissus du lichen en fonction du temps



La même expérience effectuée sur les éléments verts montre la production de matière organique radioactive dans ces éléments. Celle effectuée sur les éléments beiges ne montre aucune production de matière organique radioactive.

## ► Répondez par vrai ou faux.

- a) Les éléments sphériques verts sont des organismes photosynthétiques.
- b) Les éléments beiges sont autotrophes.
- c) La présence de  $\text{CO}_2$  fixé dans les éléments beiges au bout de 10 min est due à un transfert de matière organique des éléments verts vers les éléments beiges.
- d) Le lichen est probablement une plante à fleur.

**CORRIGÉ 43**

- a) **Vrai.** Les éléments verts doivent leur couleur à la présence de pigments chlorophylliens, pigments indispensables à la photosynthèse. En outre, le texte du document indique qu'ils utilisent du  $\text{CO}_2$  pour synthétiser des matières organiques, ce qui est une caractéristique fondamentale de la photosynthèse.
- b) **Faux.** Les éléments beiges sont dépourvus de chlorophylle et donc incapables de faire la photosynthèse. Ils ne sont pas autotrophes mais hétérotrophes.
- c) **Vrai.** Les éléments beiges, non photosynthétiques, sont incapables de synthétiser des matières organiques à partir du  $\text{CO}_2$  radioactif. Pourtant, à partir de 10 minutes d'exposition à une atmosphère contenant du  $\text{CO}_2$  radioactif, ces éléments contiennent des molécules organiques radioactives. Elles ne peuvent provenir que des éléments verts photosynthétiques. D'ailleurs, les matières organiques radioactives apparaissent immédiatement dans les éléments verts lors de l'exposition à l'atmosphère contenant du  $\text{CO}_2$  radioactif et avec un délai de 10 minutes dans les éléments beiges.
- d) **Faux.** Les données fournies n'ont rien à voir avec la reproduction du lichen et ne fournissent aucun argument pour émettre l'idée que c'est une plante à fleur. Bien entendu, ce n'est pas une plante à fleur ; le texte d'introduction suggère d'ailleurs que le lichen n'est plus considéré comme un végétal.

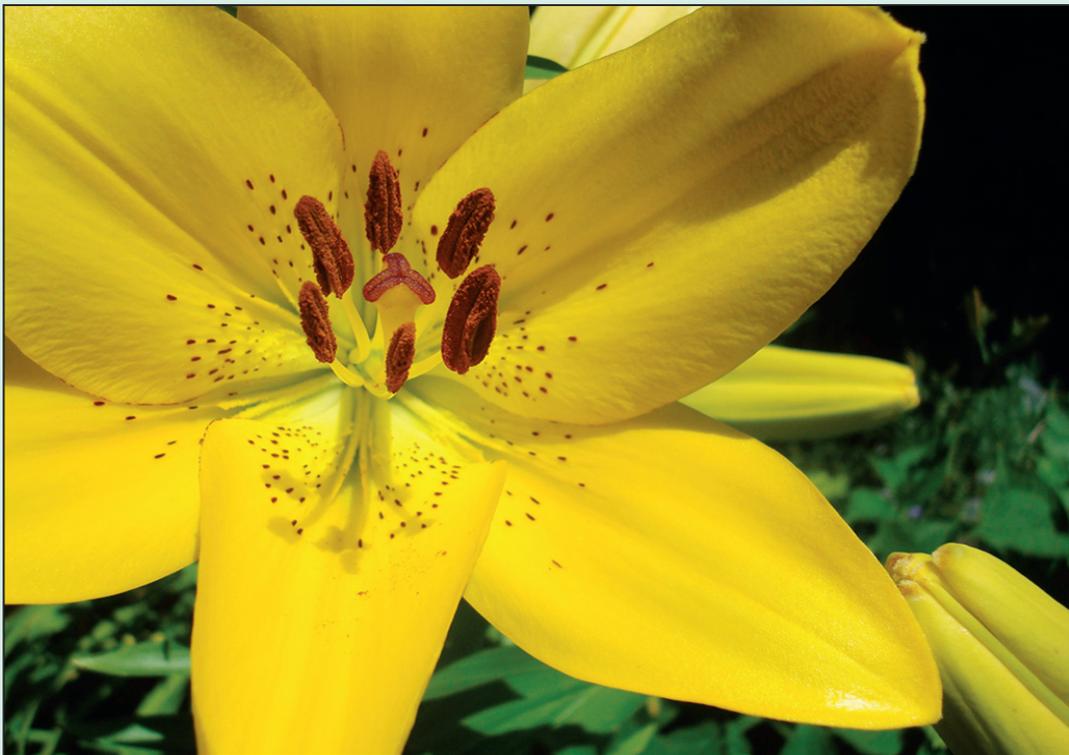


## Structure d'une fleur de lys

On étudie la structure d'une fleur de lys.

## DOCUMENT 1

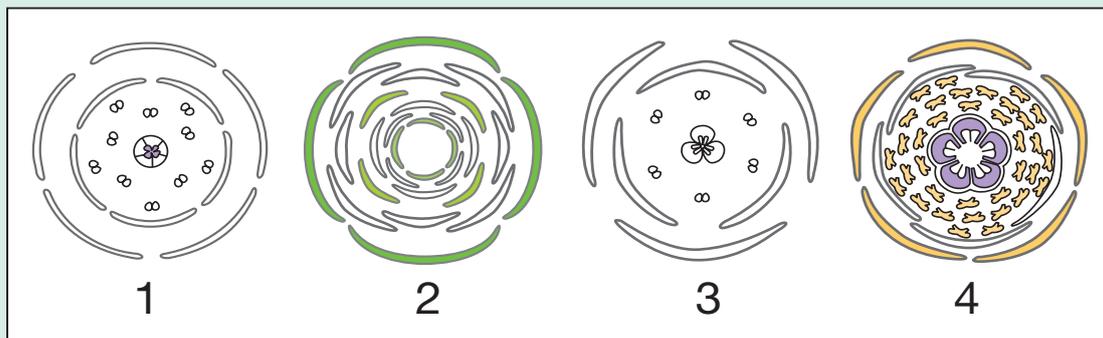
## Photographie de fleur de lys jaune



Ph© Joëlle Vidal

## DOCUMENT 2

## Différents diagrammes floraux



1

2

3

4

► Répondez par vrai ou faux.

- a) Le diagramme floral de la fleur de lys correspond au numéro 3.
- b) Les étamines contiennent les gamètes mâles de la fleur.
- c) Le diagramme numéro 2 correspond à une fleur stérile.
- d) Il existe quatre groupes de gènes du développement qui gouvernent la mise en place de la fleur.

CORRIGÉ 44

- a) **Vrai.** Le diagramme numéro 3 indique une fleur avec deux cycles de 3 pétales à l'extérieur, un cycle de 6 étamines non soudées et, au centre, un pistil constitué de 3 carpelles soudés. Cette structure de fleur est conforme à la photographie. En particulier les 3 stigmates visibles au centre de la fleur, qui indiquent que le pistil est constitué de 3 carpelles, et l'ovaire qui forme un tout indique que ces 3 carpelles sont soudés.
- b) **Vrai.** Les étamines produisent et libèrent les grains de pollen, d'ailleurs visibles sur les pétales de la photographie. Chaque grain de pollen contient un futur gamète mâle.
- c) **Vrai.** Le diagramme floral numéro 2 montre uniquement des cycles de sépales et de pétales. Sépales et pétales sont des pièces florales stériles. Cette fleur manque d'étamines et de pistil, lesquels sont respectivement les pièces mâles et les pièces femelles de la fleur.
- d) **Faux.** Il existe non pas quatre groupes de gènes de développement mais trois. Les gènes du groupe A, qui, en s'exprimant seuls, déterminent les sépales, les gènes des groupes A et B, qui, en s'exprimant dans le même territoire, déterminent les pétales, les gènes des groupes B et C, qui, en s'exprimant dans le même territoire, déterminent les étamines et, enfin, les gènes du groupe C, qui, en s'exprimant seuls, entraînent la mise en place du pistil.



## Les métagabbros

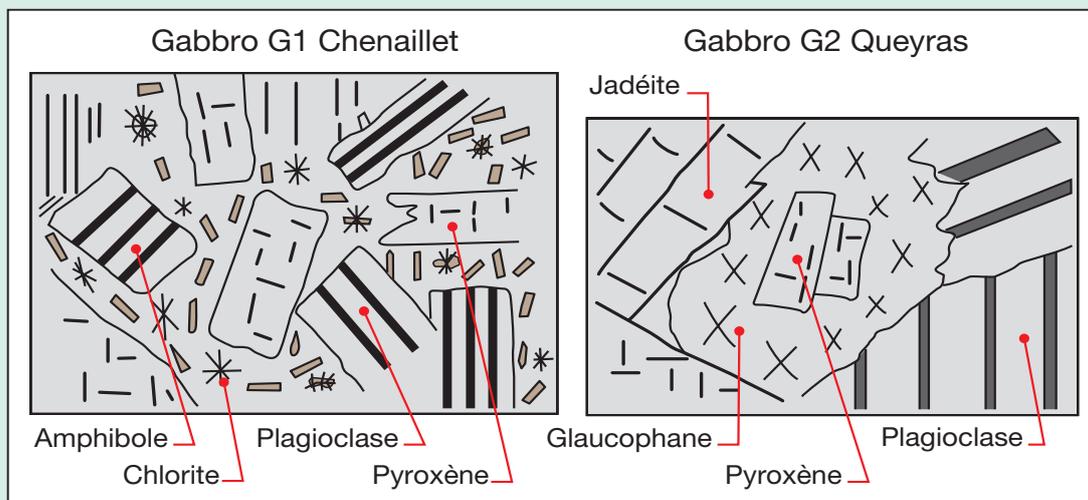
Dans une région des Alpes, on a prélevé deux roches G1 et G2 dont les lames minces figurent dans le document 1.

► Répondez par vrai ou faux.

- a) Le gabbro G1 est un métagabbro de faciès schiste bleu.
- b) Le gabbro G2 est caractéristique d'une zone de subduction.
- c) La roche caractéristique du domaine de stabilité D est l'éclogite.
- d) Le domaine de stabilité A correspond à un métamorphisme par hydratation.

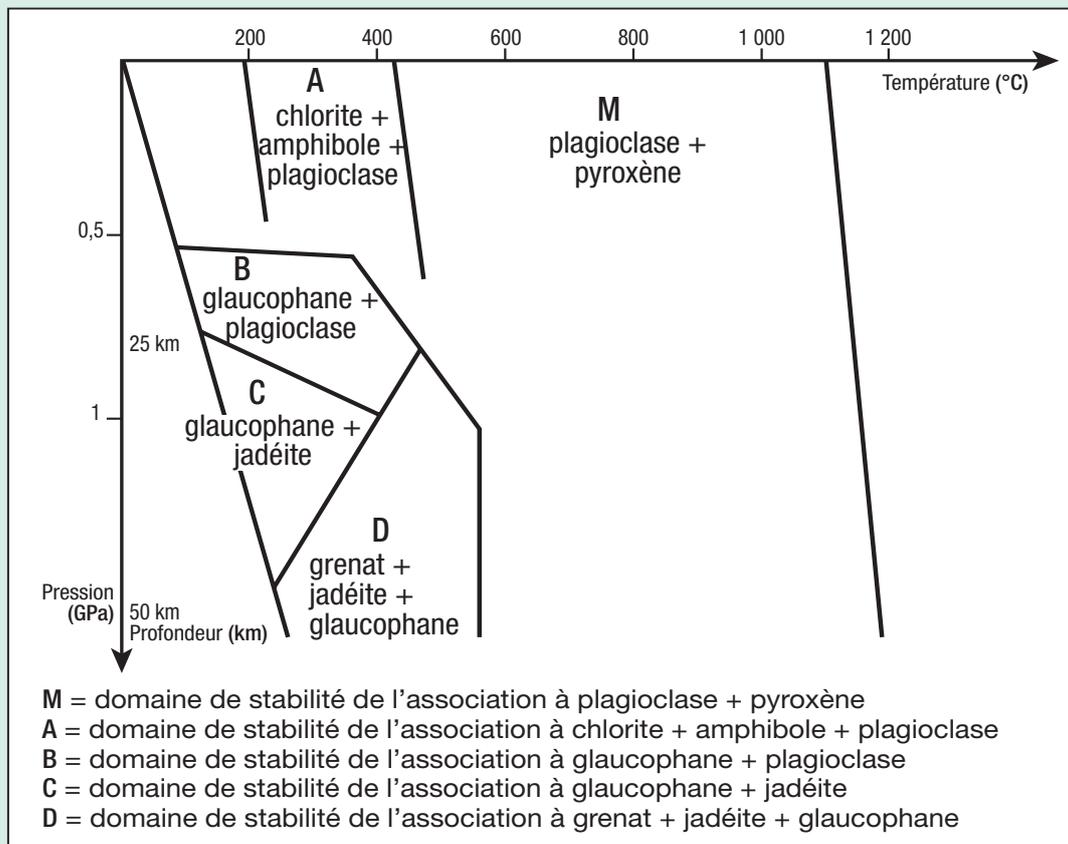
## DOCUMENT 1

## Schémas de lames minces de roches



DOCUMENT 2

**Domaine de stabilité de certaines associations de minéraux**



**CORRIGÉ 45**

- a) Faux** : un minéral caractéristique du faciès schiste bleu est le glaucophane. Le gabbro G1 ne possède pas ce minéral et n'appartient donc pas à ce faciès.
- b) Vrai** : la présence de jadéite et de glaucophane dans le gabbro 2 indique qu'il est passé par le domaine de stabilité C, qui correspond à des profondeurs supérieures à 25 km. La croûte océanique ne faisant que quelques kilomètres, la présence d'un gabbro à 25 km et plus de profondeur indique qu'il y a été entraîné par une subduction.
- c) Vrai** : l'éclogite est une roche caractérisée par l'association grenat-jadéite avec souvent du glaucophane en plus. Ce sont les minéraux caractéristiques du domaine de stabilité D.
- d) Vrai** : amphibole et chlorite sont des minéraux hydroxylés.

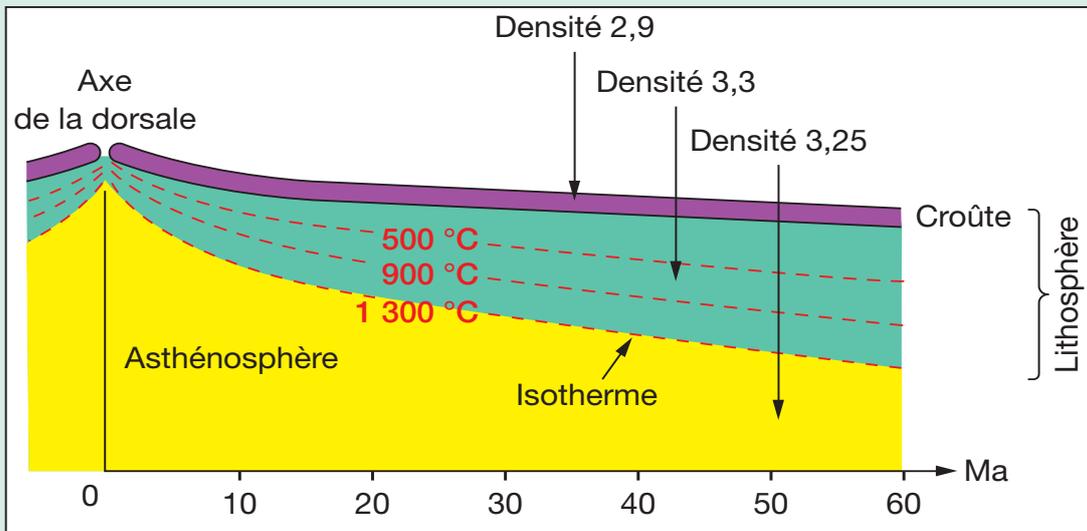
QCM



## Densité de la lithosphère et subduction

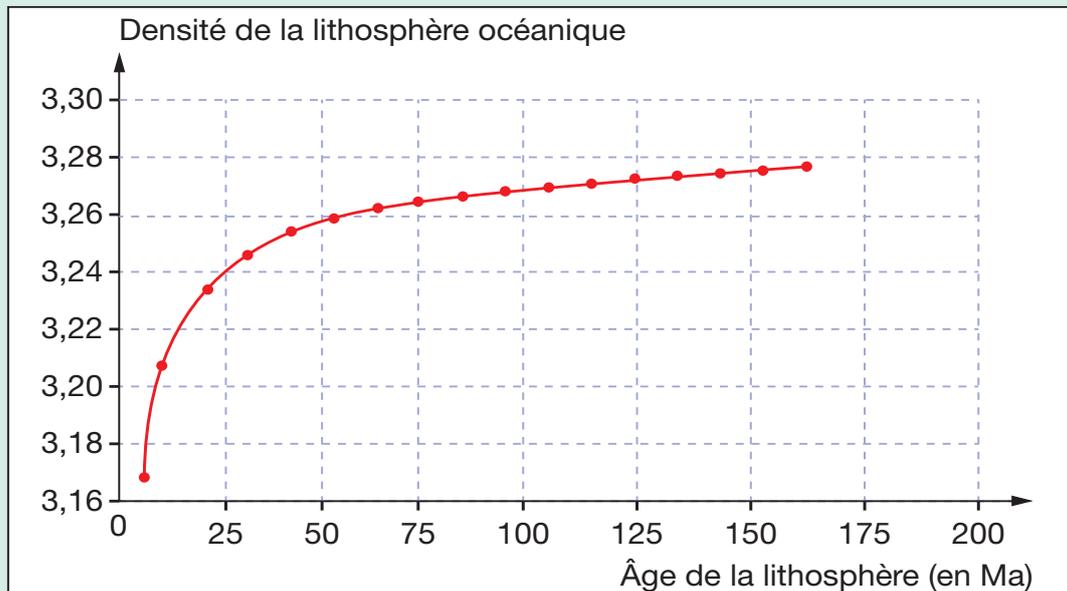
DOCUMENT 1

Évolution de l'épaisseur de la lithosphère océanique en fonction de son âge et densité des différentes enveloppes



DOCUMENT 2

Évolution de la densité de la lithosphère en fonction de son âge



► Répondez par vrai ou faux.

- a) D'après les documents, la subduction peut s'installer à partir de 40 millions d'années environ.
- b) La lithosphère océanique s'épaissit aux dépens de l'asthénosphère lors de son refroidissement.
- c) La densité de la lithosphère océanique est inférieure à la densité de la lithosphère continentale.
- d) Le phénomène de subduction ne peut se rencontrer que dans le domaine océanique.

CORRIGÉ 46

- a) **Vrai.** Le document 1 indique que la densité de l'asthénosphère est 3,25. La lithosphère océanique peut subduire lorsque sa densité est supérieure à celle de l'asthénosphère, donc supérieure à 3,25. Le document 2 indique que cela est réalisé lorsque la lithosphère océanique atteint 40 millions d'années environ.
- b) **Vrai.** La lithosphère océanique est formée de la croûte et du manteau lithosphérique. La croûte formée à l'axe de la dorsale garde la même épaisseur lorsque la lithosphère océanique s'éloigne de l'axe de la dorsale. En revanche, l'épaisseur du manteau lithosphérique augmente. En effet, en se refroidissant, une partie du manteau asthénosphérique devient du manteau lithosphérique.
- c) **Faux.** Du fait d'une croûte plus épaisse et moins dense, la lithosphère continentale a toujours une densité inférieure à celle de la lithosphère océanique.
- d) **Faux.** Le phénomène de subduction peut avoir lieu non seulement lorsqu'une lithosphère océanique subducte sous une lithosphère continentale mais aussi lors de la collision entre deux lithosphères continentales. Dans ce cas, une lithosphère continentale, du moins son manteau, subducte sous l'autre lithosphère continentale.

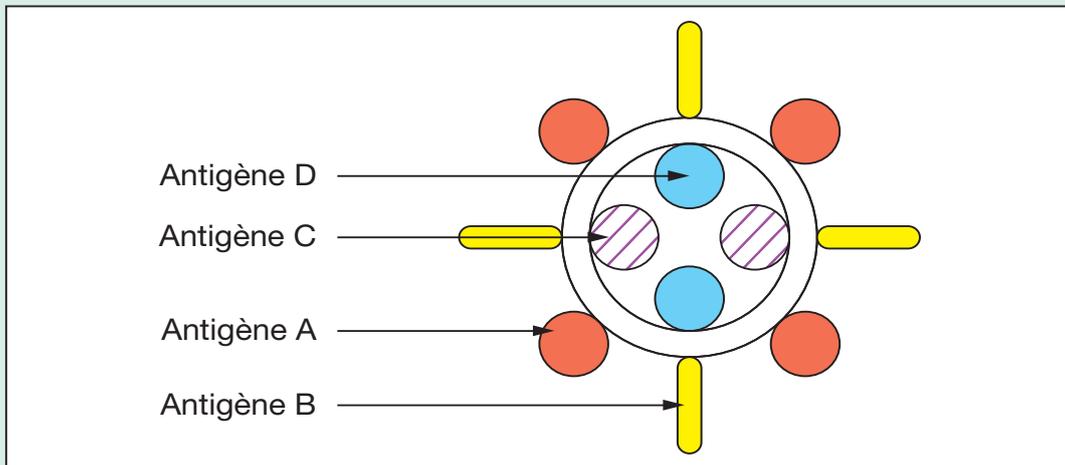


## Le phénotype immunitaire et son évolution

DOCUMENT 1

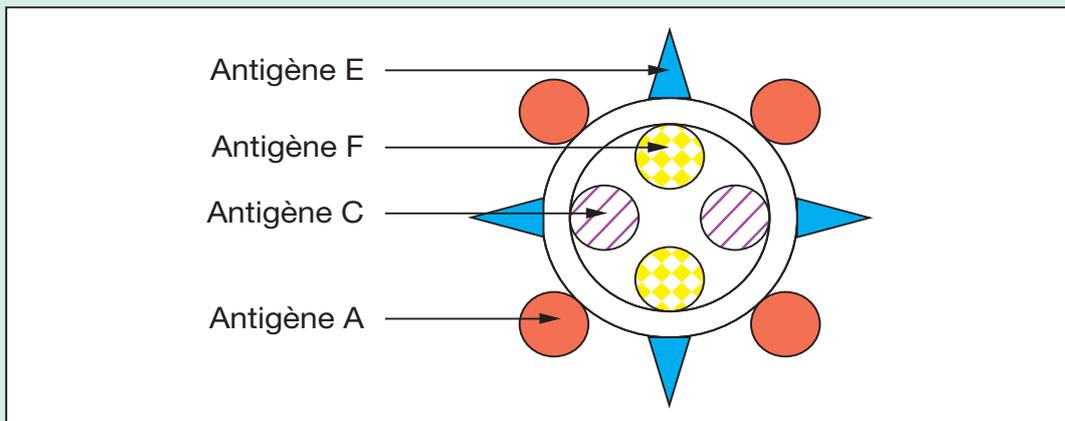
Représentation schématique de deux variants du virus de la grippe

a. Variant 1 du virus de la grippe



b. Variant 2 du virus de la grippe

(ce variant présente certains antigènes différents du variant 1)

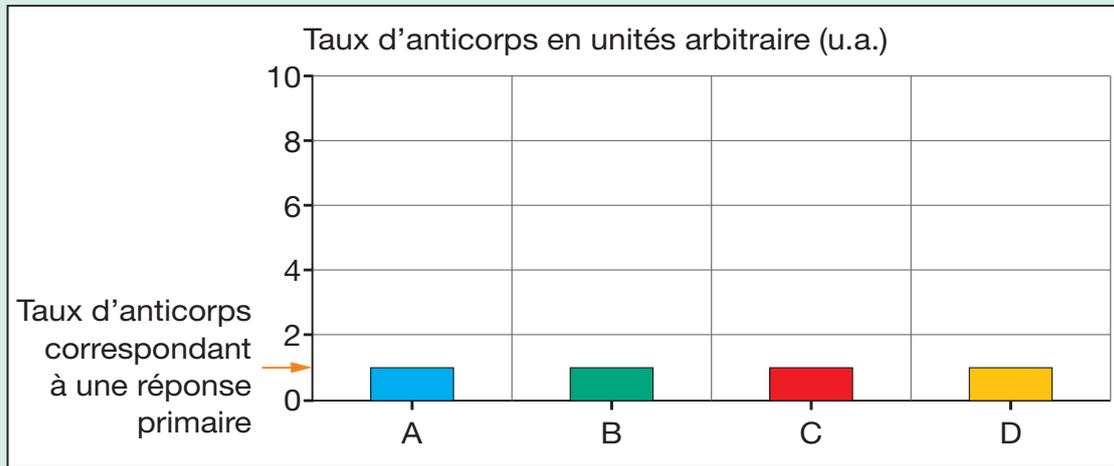


DOCUMENT 2

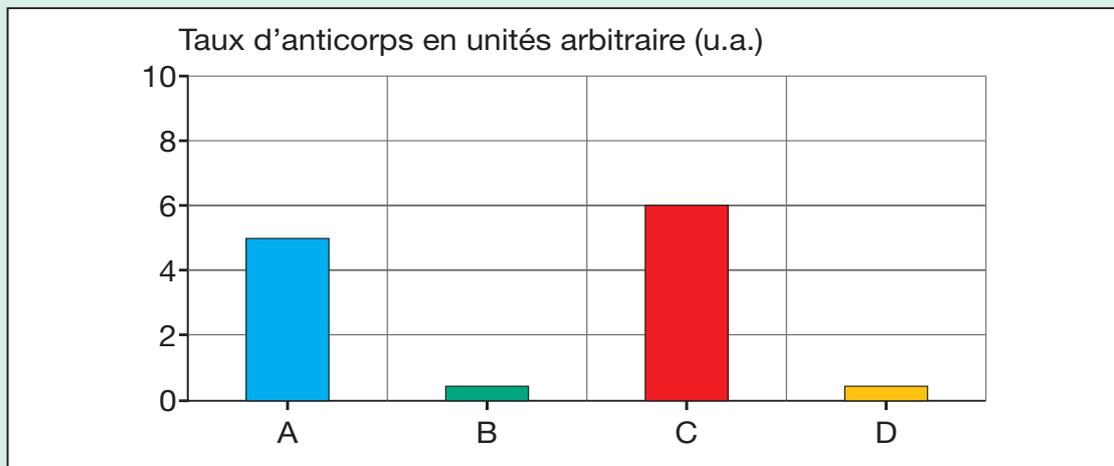
**Étude du taux d'anticorps chez un individu mis en contact avec le virus de la grippe à deux reprises ; la première fois à l'âge de 2 ans puis à l'âge de 5 ans**

En abscisse sont indiqués les différents antigènes contre lesquels sont dirigés les anticorps.

**a. Taux d'anticorps produits par l'individu à l'âge de 2 ans**



**b. Taux d'anticorps produits par l'individu à l'âge de 5 ans**



► Répondez par vrai ou faux.

- a) Le document 2 montre que la réponse primaire à un virus n'est pas spécifique.
- b) Quand l'individu est âgé de 5 ans, la production d'anticorps anti-C est plus importante, car il s'agit d'une protéine exposée à la surface du virus.

**c)** Chez l'individu infecté pour la deuxième fois par un variant du virus de la grippe, la production d'anticorps anti-A et anti-C traduit une réponse secondaire qui fait intervenir des cellules mémoires LT et LB.

**d)** Cette réponse à une deuxième infection par un virus grippal montre l'importance du choix de la souche virale utilisée pour le vaccin contre la grippe saisonnière.

**CORRIGÉ 47**

**a) Faux.** À la suite d'une infection par le variant 1 du virus de la grippe, l'individu a produit quatre types d'anticorps, reconnaissant chacun un antigène du variant 1. C'est la réaction primaire. Chaque type d'anticorps ne reconnaît qu'un antigène, ce qui indique que la réponse primaire est spécifique.

Toutefois, si l'on considère globalement les variants 1 et 2, qui possèdent en commun les antigènes A et C, la réponse primaire au variant 2 produit aussi des anticorps anti-A et anti-C. Puisque la réponse primaire aux variants 1 et 2 produit les mêmes anticorps, anti-A et anti-C, elle n'est pas spécifique d'un variant pour ces antigènes. Compte tenu de ces explications, répondre « vrai » à cette première proposition pourrait être considéré comme correct.

**b) Faux.** La protéine antigénique C n'est pas exposée à la surface du virus, mais se trouve à l'intérieur de la capsid du virus. En outre, la production importante d'anticorps C n'est pas due à la situation de la protéine chez le virus, mais à une réponse immunitaire secondaire (voir réponse à la question c).

**c) Vrai.** La réaction primaire contre le variant 1 a produit non seulement des anticorps anti-A et anti-C mais aussi des lymphocytes B mémoires et des lymphocytes T4 mémoires spécifiques des antigènes A et C. Ce sont ces cellules mémoires qui, au cours de l'infection par le variant 2, sont à l'origine d'une réaction immunitaire secondaire se traduisant par une production importante des anticorps anti-A et anti-C.

**d) Vrai.** La souche vaccinale doit, si possible, posséder les mêmes antigènes que ceux du virus qui risque d'infecter l'individu vacciné. Ainsi, cet individu aura non seulement des anticorps spécifiques des antigènes du variant infectieux, mais aussi des lymphocytes mémoires spécifiques, permettant une réponse secondaire rapide et importante. Il bénéficiera d'une protection efficace.

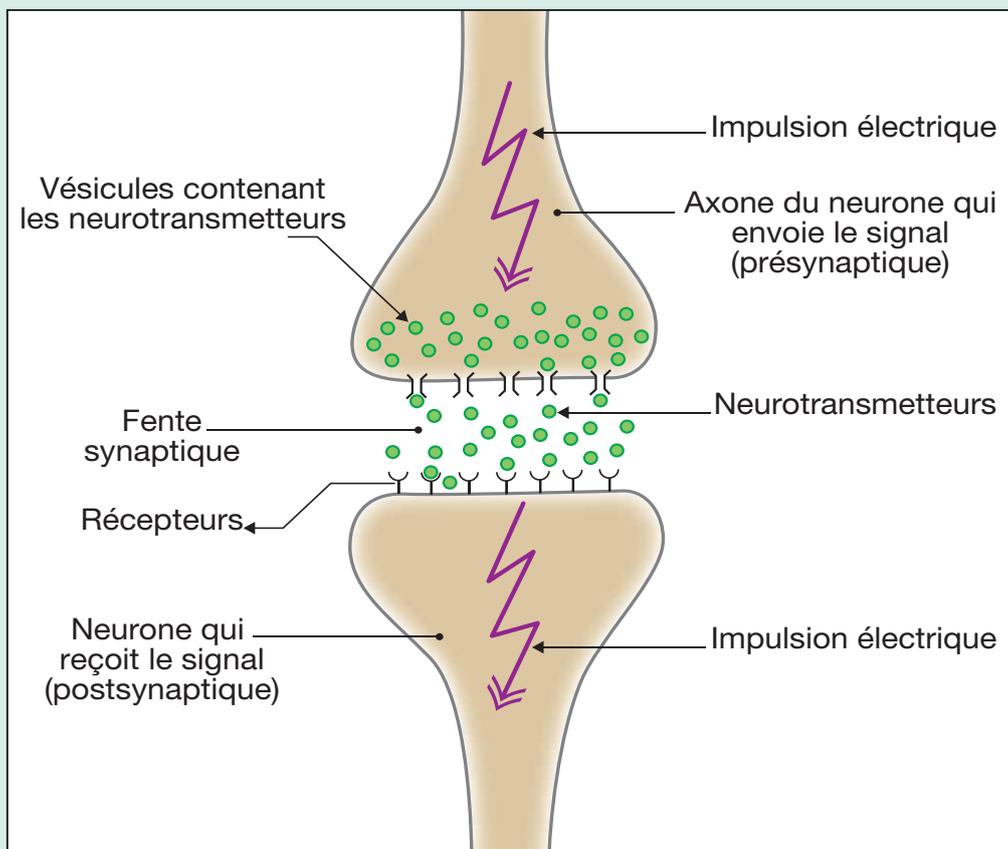


## Effet du curare sur le système nerveux

On étudie l'effet du curare sur le système nerveux.

## DOCUMENT 1

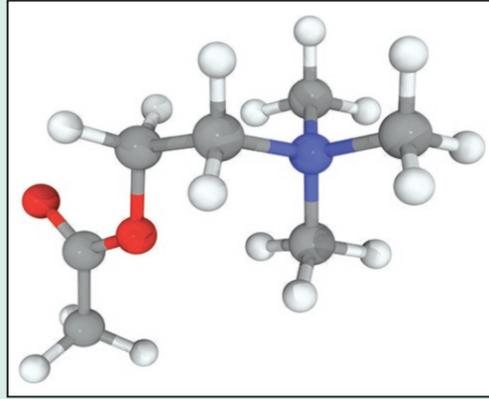
## Schéma simplifié d'une synapse



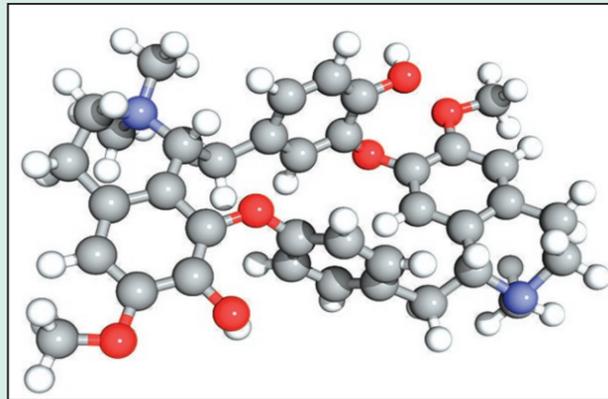
## DOCUMENT 2

## Expérience d'injection de curare

Les Indiens d'Amazonie utilisent le curare pour chasser leurs proies en les paralysant avec des fléchettes projetées à l'aide de sarbacanes. Pour l'Homme, le curare est un poison qui provoque la mort par paralysie des muscles respiratoires.

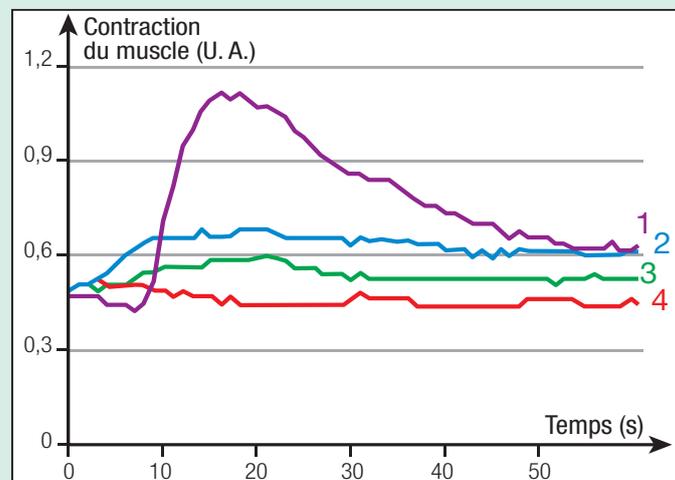
© Science Photo Library / AGE  
Fotostock

Molécule d'acétylcholine

© Science Photo Library / Alamy  
Stock Photo

Molécule de curare

Un muscle isolé est relié à un système permettant de mesurer son état de contraction. On introduit au temps  $t_0$  une dose test d'acétylcholine (courbe 1). Puis on répète l'expérience en ajoutant à cette dose test des concentrations croissantes de curare (courbes 2 à 4).



Résultats expérimentaux

## ► Répondez par vrai ou faux.

- a) L'acétylcholine est le neurotransmetteur qui intervient au niveau d'une synapse neuromusculaire.
- b) Un neurotransmetteur permet parfois l'apparition d'une hyperpolarisation au niveau du neurone postsynaptique.
- c) L'intensité de l'effet du curare varie en fonction de sa concentration lors des injections.
- d) Le curare détruit l'acétylcholine, ce qui explique l'absence de contraction musculaire en sa présence.

**CORRIGÉ 48**

- a) **Vrai.** C'est une notion que vous devez connaître.
- b) **Vrai.** Le document ne fournit aucun indice pour porter un jugement sur cette affirmation, mais, là aussi, c'est une notion que vous devez connaître. Un neurotransmetteur qui hyperpolarise le neurone postsynaptique diminue son excitabilité, c'est-à-dire sa capacité à émettre des potentiels d'action. Une synapse où un tel neurotransmetteur est en jeu est dite **inhibitrice**. Dans le réflexe myotatique, c'est le cas de la synapse entre un interneurone et un motoneurone antagoniste du muscle étiré.
- c) **Vrai.** L'effet du curare est apprécié par l'amplitude de la contraction du muscle. On constate que plus la concentration du curare est forte, plus l'amplitude de la contraction est faible.
- d) **Faux.** Le curare ne détruit pas l'acétylcholine. Il se fixe, en raison de son analogie de structure avec l'acétylcholine, sur les mêmes récepteurs postsynaptiques de la fibre musculaire que ce neuromédiateur. Ce faisant, le curare entre en **compétition** avec l'acétylcholine au niveau de la synapse neuromusculaire. Mais, contrairement à l'acétylcholine, le curare ne déclenche pas la contraction musculaire ; il diminue l'effet de l'acétylcholine en occupant un plus ou moins grand nombre de récepteurs en fonction de sa concentration.



## Aspects histologiques du système nerveux

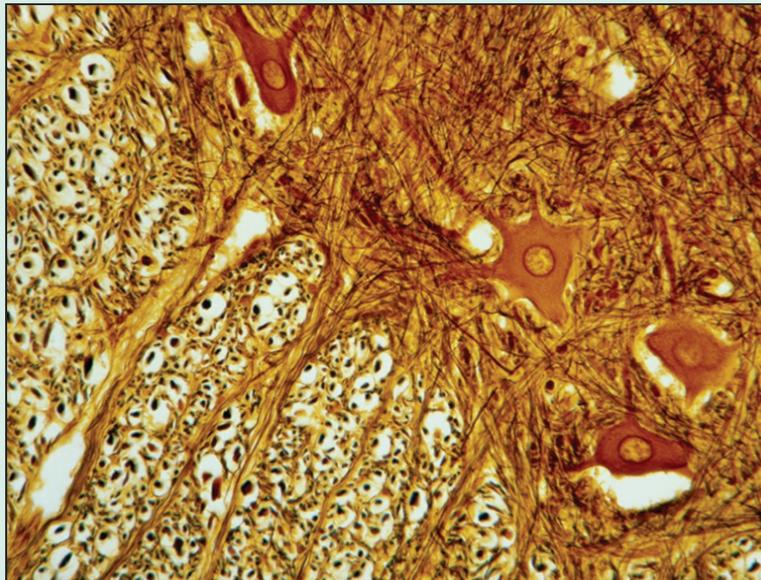
On observe la structure du document 1, dont le document 2 est une partie agrandie.

DOCUMENT 1



Ph© Hervé Conge

DOCUMENT 2



Ph© Eye of Science/SPL/Biosphoto

► Répondez par vrai ou faux.

- a) Le document 2 correspond au grossissement de la zone B du document 1.
- b) Sur le document 2 on peut observer des corps cellulaires de neurones sensitifs.
- c) L'influx nerveux véhiculé par l'intermédiaire des neurones du document 2 est efférent.
- d) La structure observée sur le document 1 est un centre nerveux.

CORRIGÉ 49

- a) **Faux** : la zone B du document 1 est un ganglion rachidien. Le document 2 est une coupe transversale dans la moelle épinière et non dans un ganglion rachidien. On y reconnaît la substance blanche à droite et la substance grise à gauche.
- b) **Faux** : les corps cellulaires des neurones sensitifs (neurones en T) sont localisés dans les ganglions rachidiens et non dans la substance grise de la moelle épinière.
- c) **Vrai** : la substance grise dans le document 2 correspond à une corne antérieure de la moelle épinière (zone A, document 1) où sont localisés les corps cellulaires des motoneurones. Les messages émis par ces motoneurones se propagent jusqu'aux muscles et sont donc bien efférents.
- d) **Vrai** : la moelle épinière est un centre nerveux où s'effectuent les connexions entre neurones sensitifs et neurones moteurs (traitement de l'information).





# IV. Préparer l'épreuve pratique



## Utilisation du glucose et respiration des levures

*Il est impossible, dans un Annabac, d'évaluer la qualité des manipulations réalisées, mais le corrigé vous indique cependant les comportements qui, au cours de celles-ci, seront pris en compte dans la notation.*

*Dans ce sujet, la première partie : « Comprendre ou proposer une démarche de résolution » consiste à imaginer le principe d'un protocole expérimental, permettant de résoudre le problème posé, à partir du matériel qui vous est proposé et de sa description. La réponse doit être rédigée dans les dix premières minutes de l'épreuve sur une fiche réponse fournie et ramassée par l'examineur. Ce dernier vous remet alors le protocole imposé de la manipulation à réaliser.*

*Dans d'autres sujets, on ne vous demandera pas de concevoir un protocole expérimental car celui-ci vous sera fourni d'emblée et une ou deux questions posées à son propos, incluant souvent l'exploitation d'une fiche document, vous permettront de montrer que vous avez saisi l'intérêt de la démarche proposée.*

Les levures sont des organismes unicellulaires hétérotrophes régénérant leur ATP par un métabolisme respiratoire ou fermentaire.

On cherche à déterminer si les levures étudiées utilisent le glucose par voie respiratoire.

### Matériel :

- une chaîne d'acquisition ExAO comportant une sonde à dioxygène, avec dispositif d'agitation ;
- un logiciel d'acquisition des données ;
- la fiche technique du logiciel utilisé ;
- une solution de glucose à  $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  ;
- une suspension de levures ( $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) préparée avec de l'eau du robinet, aérée par un aérateur d'aquarium durant 24 à 48 h (levures « affamées » qui ont perdu la quasi-totalité de leurs réserves glucidiques) ;
- une seringue de 1 mL, une pipette et une propipette ;
- du papier absorbant ;
- une fiche document indiquant les bilans métaboliques à partir du glucose.

**ACTIVITÉS ET DÉROULEMENT DES ACTIVITÉS**

► **1.** Proposer, en utilisant le matériel mis à disposition et la fiche document, un principe de protocole permettant de tester l'hypothèse selon laquelle le glucose est utilisé par voie respiratoire.

*Durée conseillée : environ 10 minutes.*

**Appeler l'examineur pour échanger votre fiche réponse contre le protocole de la manipulation.**

► **2. a)** Paramétrer les mesures puis réaliser le montage en suivant les consignes de la fiche protocole.

**Appeler l'examineur pour vérification.**

**b)** Acquérir les données pertinentes pour la résolution du problème selon le protocole proposé dans la fiche-protocole.

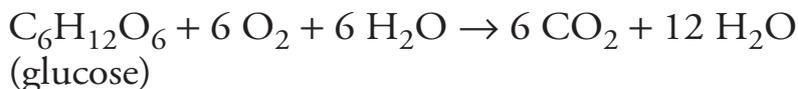
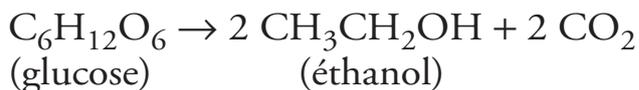
Lire la question suivante avant l'enregistrement dans le répertoire. Un résultat de secours vous sera fourni en cas de besoin.

**Appeler l'examineur pour vérification, enregistrer.**

► **3.** Annoter le graphique (ou le document de secours) de manière la plus complète possible.

Vous pouvez choisir de porter ces informations directement à l'aide du logiciel d'acquisition.

► **4.** Exploiter les résultats pour déterminer si les levures utilisent le glucose par voie respiratoire.

**FICHE DOCUMENT****Bilans métaboliques à partir du glucose****Métabolisme respiratoire****Métabolisme fermentaire**

**PROTOCOLE**

Organiser le poste de travail de façon à manipuler proprement et en accord avec les consignes de sécurité.

**Paramétrage des mesures et réalisation du montage**

On réalisera les étapes 2 et 3 dans l'ordre qui convient en fonction du matériel.

1. Paramétrer la mesure : durée = 10 min,  $O_2$ .
2. Remplir l'enceinte avec la quantité de suspension de levures nécessaire (préalablement agitée) en utilisant une pipette.
3. Installer dans l'enceinte la sonde à dioxygène, vérifier l'absence de bulles d'air et sponger les débordements éventuels.
4. Fermer si nécessaire les autres orifices.
5. Lancer l'agitation à vitesse modérée.
6. Préparer une seringue avec la solution de glucose à  $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .
7. Prévoir l'insertion d'un repère légendé sur le graphique précisant le moment de l'injection.

**Appeler l'examineur pour vérification.**

**Protocole d'acquisition des mesures**

- Lancer la mesure.
- À  $t = 1 \text{ min } 30$ , ajouter dans le réacteur 0,2 mL de la solution de glucose et insérer un repère légendé sur le graphique.
- Poursuivre l'enregistrement durant le temps restant.
- Présenter les résultats de façon optimale en jouant sur les fonctionnalités du logiciel.

**Appeler l'examineur pour vérification.**

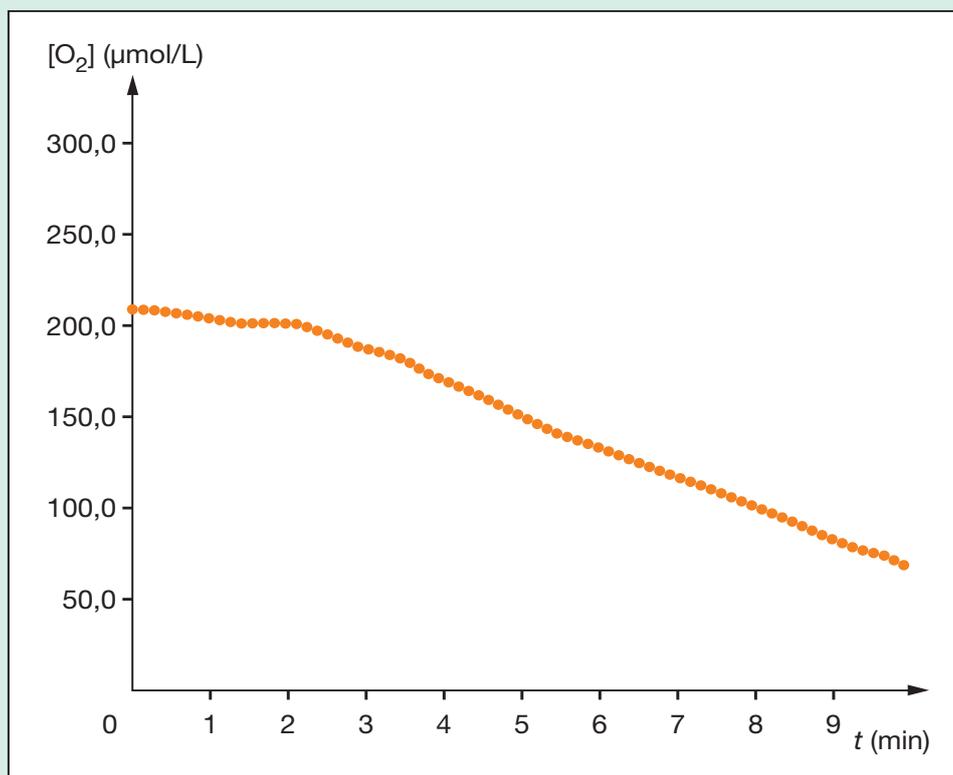
En cas d'échec de l'obtention d'une courbe valable à cause d'une mauvaise manipulation ou d'une incapacité à utiliser le logiciel (mauvais paramétrage par exemple), un résultat de secours vous sera fourni (document 1).

Vous devrez le rendre complété en fin d'épreuve (document 2).



## DOCUMENT 1

## Résultat de secours



## CORRIGÉ 50

## ► 1. Comprendre ou proposer une démarche de résolution

On place une suspension de levures « affamées » dans l'enceinte d'une chaîne ExAO ; ces levures n'ont aucune substance énergétique à leur disposition. Si on leur fournit du glucose et qu'elles sont capables de l'utiliser par voie respiratoire, la concentration de dioxygène dans l'enceinte doit diminuer.

Grâce à la sonde oxymétrique, on suit l'évolution de la concentration en dioxygène de la suspension de levures avant et après une injection de glucose.

La mesure avant l'injection de glucose est utilisée comme témoin.

## Barème d'évaluation

Bien compris. Propositions pertinentes mêmes si maladroitement.	3
Globalement compris mais propositions peu pertinentes ou trop incomplètes.	2
Mal compris. Proposition(s) très incomplète(s).	1
Pas compris. Pas de proposition.	0

## ► 2. Utiliser des techniques et gérer le poste de travail

**a)** Bien respecter les différentes étapes du protocole de montage de la chaîne ExAO et d'acquisition : remplissage de l'enceinte, mise en route de l'agitateur, mise en place de la sonde (absence de bulle d'air), préparation d'une seringue sans bulle d'air, injection du volume demandé de glucose au temps voulu.

La gestion et l'organisation du poste de travail inclut l'organisation de la paillasse et le respect des consignes de sécurité pendant l'épreuve et, en fin d'épreuve, le rangement de la paillasse et la fermeture du logiciel.

### Barème d'évaluation

Utilisation maîtrisée du matériel.	Sans aucune aide. Soins et respect des règles de sécurité.	6 à 5
	Besoin d'aides mineures ou manque de soins et/ou non-respect des règles de sécurité.	4 à 3
Utilisation du matériel nécessitant une aide majeure.	Manque de soins et/ou non-respect des règles de sécurité.	2 à 1
Pas d'utilisation convenable du matériel malgré les aides.		0

**b)** La bonne utilisation de la chaîne ExAO suppose un paramétrage correct, l'insertion d'un repère légendé précisant le moment de l'injection du glucose, la gestion maîtrisée des fonctionnalités du logiciel pour l'acquisition de la mesure et l'adaptation de l'échelle des axes aux phénomènes.

### Barème d'évaluation

Utilisation maîtrisée du matériel.	Sans aucune aide. Soins et respect des règles de sécurité.	5
	Besoin d'aides mineures ou manque de soins et/ou non-respect des règles de sécurité.	4 à 3
Utilisation du matériel nécessitant une aide majeure.	Manque de soins et/ou non-respect des règles de sécurité.	2 à 1
Pas d'utilisation convenable du matériel malgré les aides.		0

## ► 3. Communiquer à l'aide de modes de représentation

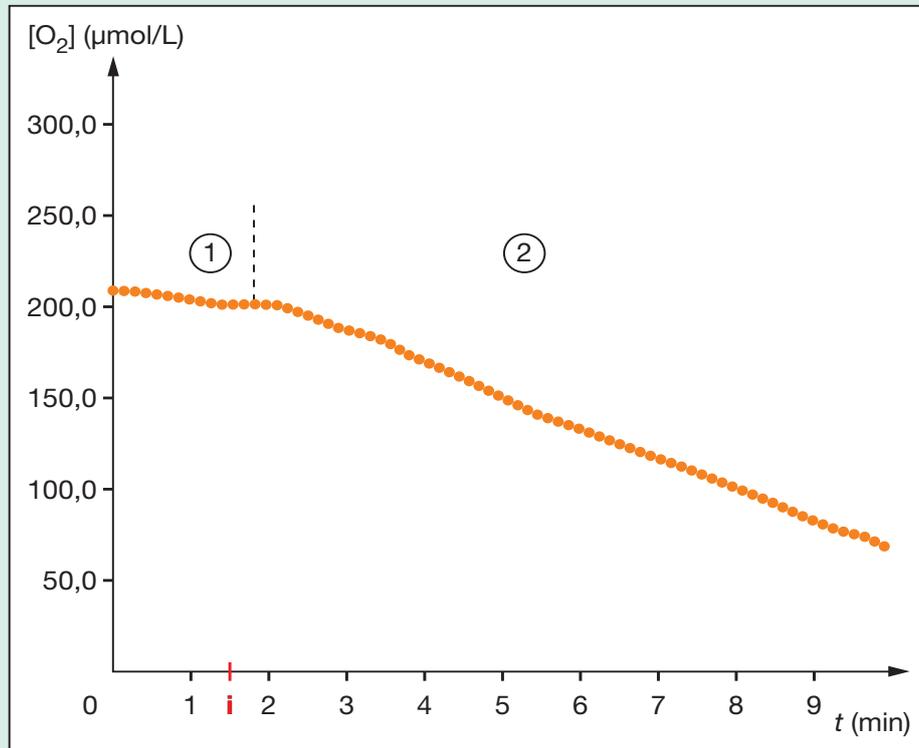
La communication des informations et des résultats à l'aide d'un graphique implique :

- l'insertion du titre du graphique et de la légende (injection du glucose) ;
- la délimitation et l'annotation (à la main ou à l'aide du logiciel) des différentes parties du graphique (consommation significative ou non de dioxygène après injection de glucose).

DOCUMENT 2

Mode de représentation des informations

Variation de la concentration en dioxygène au cours du temps



① = Consommation pratiquement nulle de dioxygène par les levures (respiration très faible)

② = Consommation nettement plus importante de dioxygène par les levures à la suite de l'injection de glucose (respiration plus importante)

i = Moment d'injection du glucose

Barème d'évaluation

Présence de l'essentiel de l'information. Exactitude et pertinence.	Présence du vocabulaire attendu. Mise en valeur de l'information et respect des codes de représentation.	4
	Au moins une partie du vocabulaire attendu ou faible mise en valeur de l'information ou non-respect des codes de représentation.	3
Traduction partielle de l'information.	Au moins une partie du vocabulaire attendu. Mise en valeur de l'information et respect des codes de représentation.	2 à 1
Mauvaise traduction de l'information.	Peu de vocabulaire ou faible mise en valeur de l'information ou non-respect des codes de représentation.	0

**► 4. Appliquer une démarche explicative**

La concentration en dioxygène diminue plus rapidement après injection de glucose, donc les levures utilisent le glucose comme métabolite respiratoire.

**Barème d'évaluation**

Prise en compte de (presque) toutes les données et mises en relation pertinentes et cohérentes.	2
Réponse partielle au problème.	1
Pas de conclusion ou trop maladroite et confuse.	0

# V. La boîte à outils

- ▶ Schémas et documents clés ..... 308
- ▶ Le lexique ..... 328



# Schémas et documents clés

## Comment utiliser cette rubrique ?

- ▶ Dans les questions de synthèse de type I, vous pouvez être amené à **réaliser un schéma** : vous trouverez ici des **indications pratiques pour représenter** les figures utiles.
- ▶ Certains **documents** reviennent souvent dans les QCM de type I et les questions de type II : vous trouverez ici des aides pour **les reconnaître et les interpréter**.

## Les schémas et documents se rapportent aux thèmes suivants

1. Le brassage génétique intrachromosomique
2. Le brassage génétique interchromosomique
3. Les anomalies chromosomiques
4. L'organisation fonctionnelle de la plante
5. La reproduction de la plante
6. Deux frontières océan-continent
7. Trois roches caractéristiques de la croûte continentale
8. Les roches constitutives d'une ophiolite
9. Les déformations tectoniques associées à un raccourcissement
10. Le flux thermique
11. Deux aspects des réactions immunitaires
12. Les anticorps
13. Deux aspects de la réaction immunitaire adaptative
14. Les réactions immunitaires innée et adaptative
15. L'arc réflexe myotatique
16. Des éléments du réflexe myotatique
17. La jonction neuromusculaire
18. La motricité nerveuse



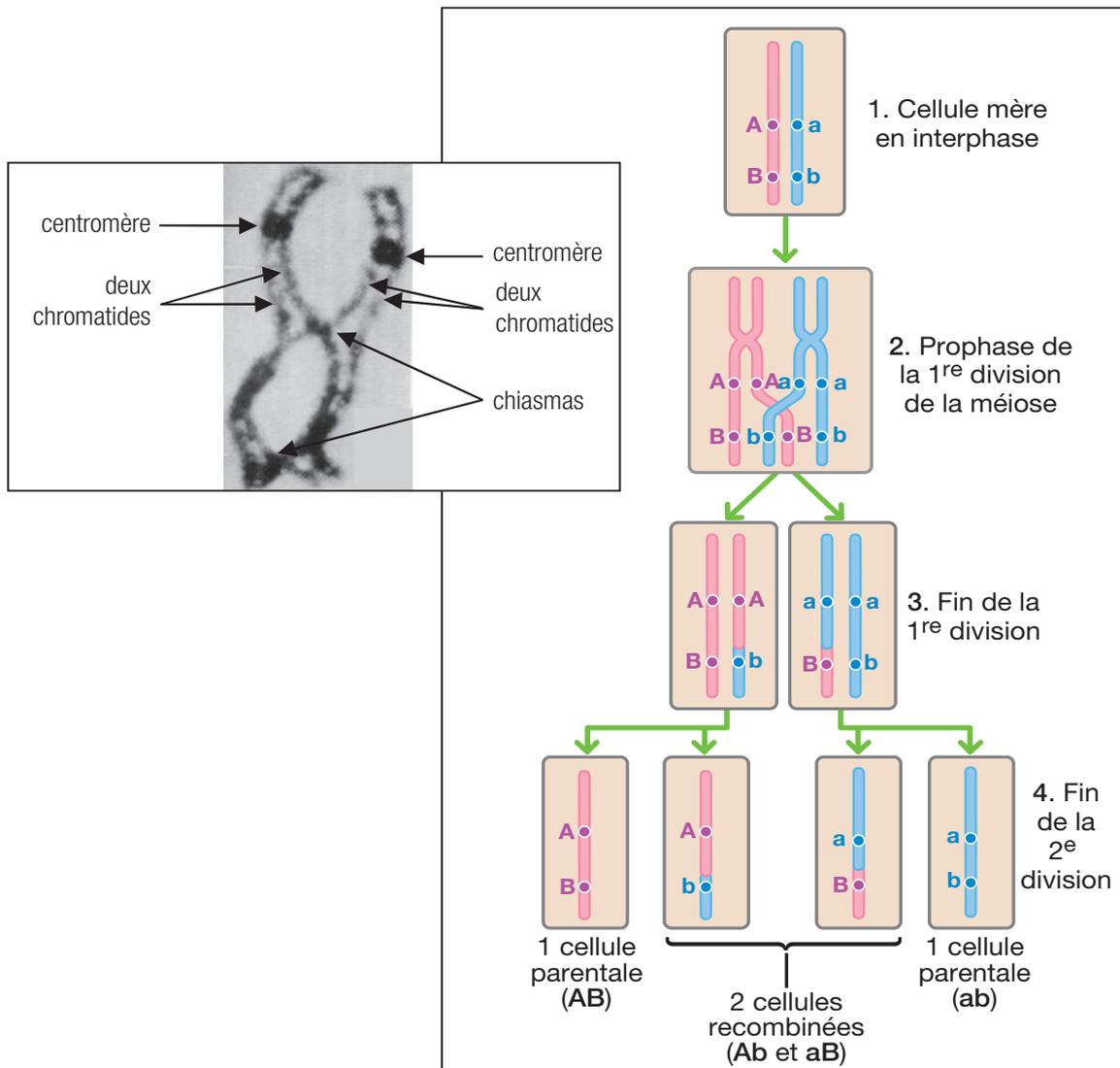
# 1. Le brassage génétique intrachromosomique

## a. Représenter le brassage génétique intrachromosomique (figure)

Représenter les chromosomes maternel et paternel chacun avec une couleur différente. Pour chaque gène, considérer deux allèles différents. Dans la figure de prophase de première division (prophase I), placer le chiasma entre les loci des deux gènes. Aboutir (en légende) aux gamètes parentaux et aux gamètes recombinés. À chaque étape, figurer les limites cellulaires.

## b. Reconnaître les chromosomes homologues appariés durant la prophase I (photo)

Repérer les deux chromatides de chaque chromosome. Localiser les centromères et les chiasmata.



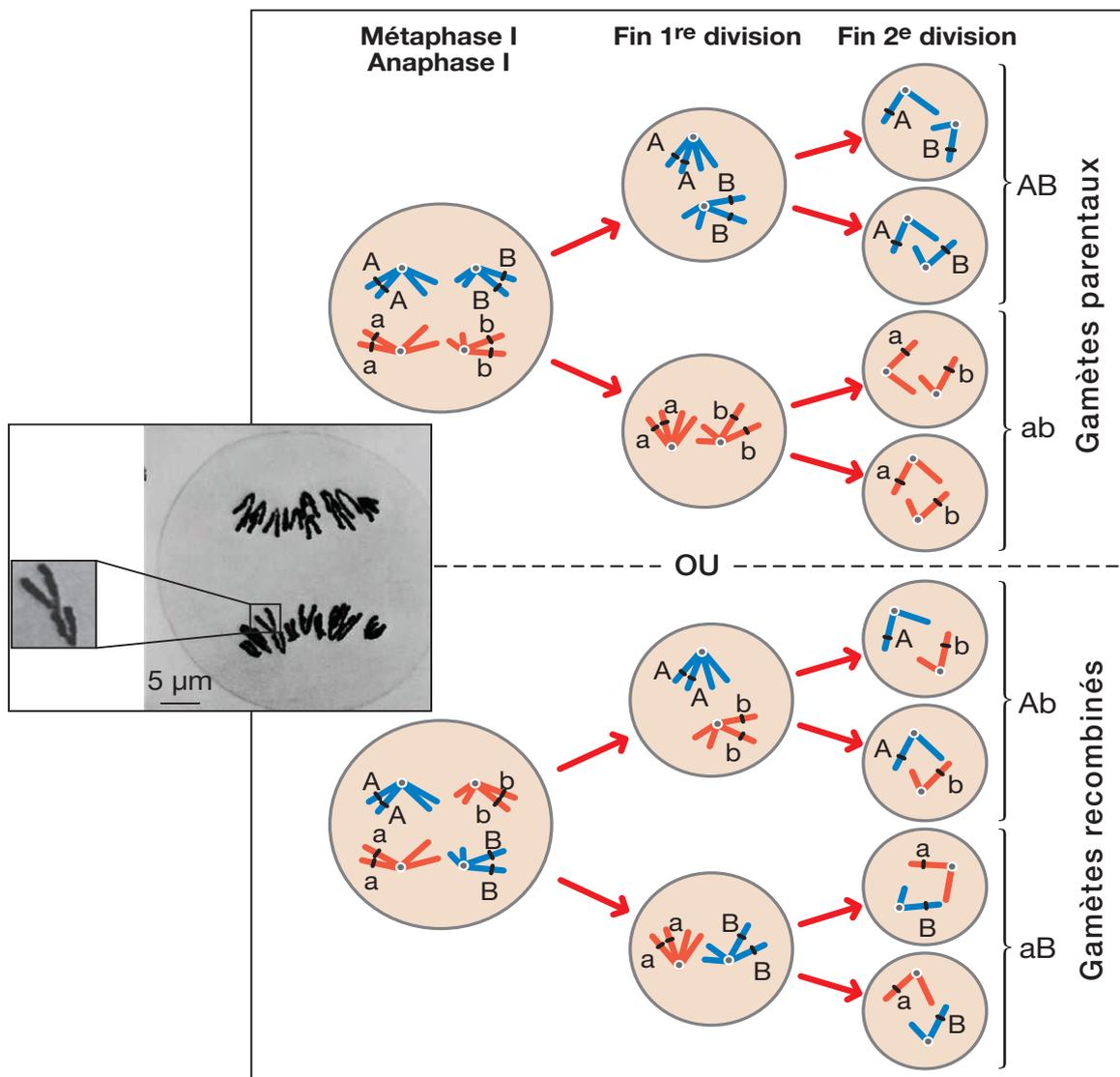
## 2. Le brassage génétique interchromosomique (figure)

### a. Représenter le brassage génétique interchromosomique (figure)

Représenter deux paires de chromosomes non homologues de forme différente, en distinguant par la couleur les chromosomes d'origine paternelle et ceux d'origine maternelle. Localiser deux gènes, le premier sur l'une des paires de chromosomes, le deuxième sur l'autre paire. Pour chaque gène, considérer deux allèles différents. Schématiser les deux méioses possibles en insistant sur le « ou », qui traduit le comportement indépendant des paires de chromosomes au cours des deux méioses. Indiquer les gamètes parentaux et les gamètes recombinés.

### b. Reconnaître une anaphase de première division de méiose (photo)

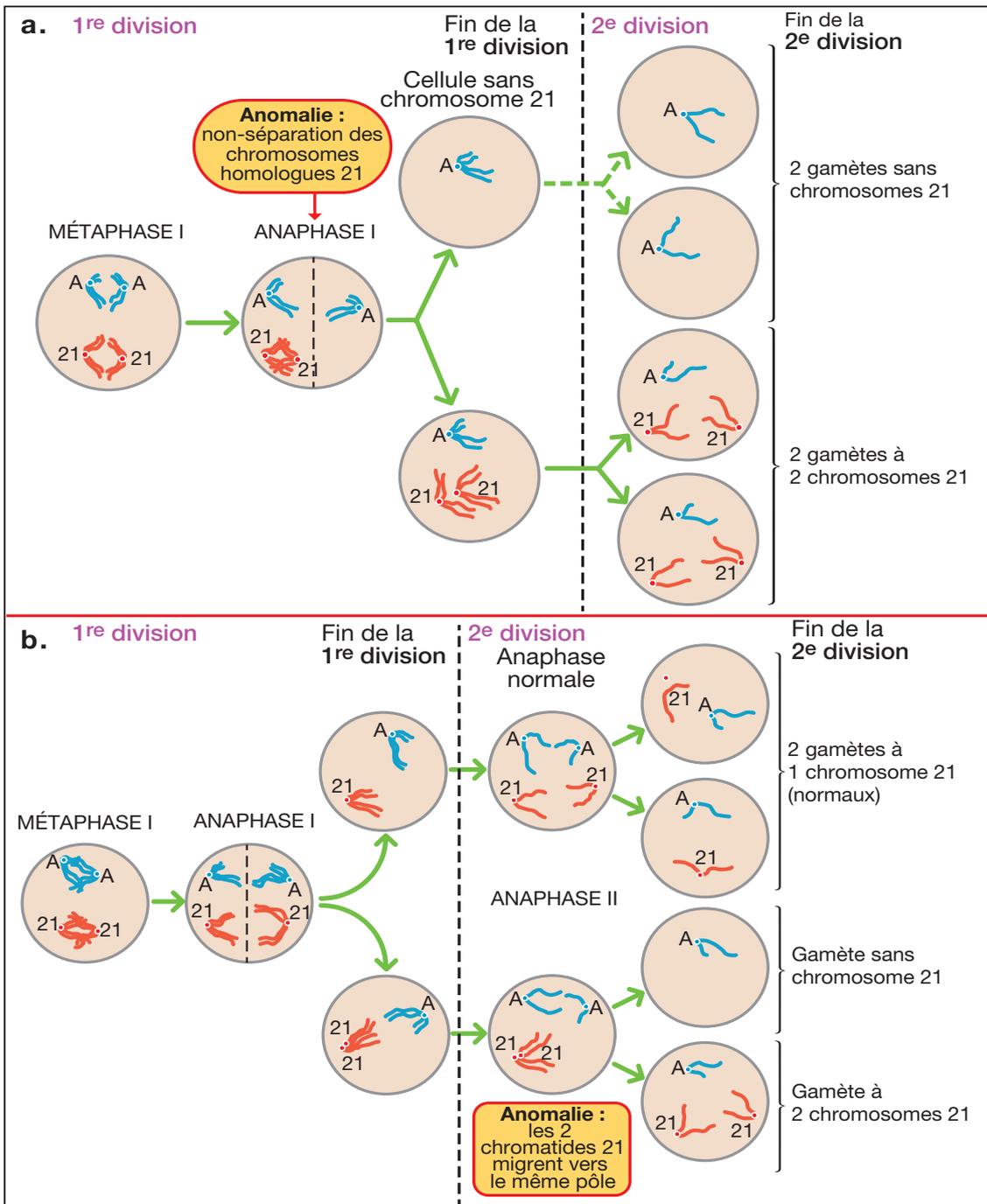
Reconnaître deux lots de chromosomes, chacun formé de deux chromatides. Si le nombre de chromosomes de l'espèce ( $2n$ ) est précisé, noter qu'on n'en compte que  $n$  à chaque pôle.



### 3. Les anomalies chromosomiques

#### Représenter des anomalies de la méiose aboutissant à des gamètes chromosomiquement anormaux

Représenter les deux possibilités : anomalie au cours de la première division de la méiose (figure a) ou anomalie au cours de la deuxième division de la méiose (figure b). Représenter une paire de chromosomes (A en bleu, par exemple) ayant un comportement normal et une paire de chromosomes (21 en rouge, par exemple) présentant un comportement anormal. Bien situer l'anomalie dans le déroulement de chaque méiose.



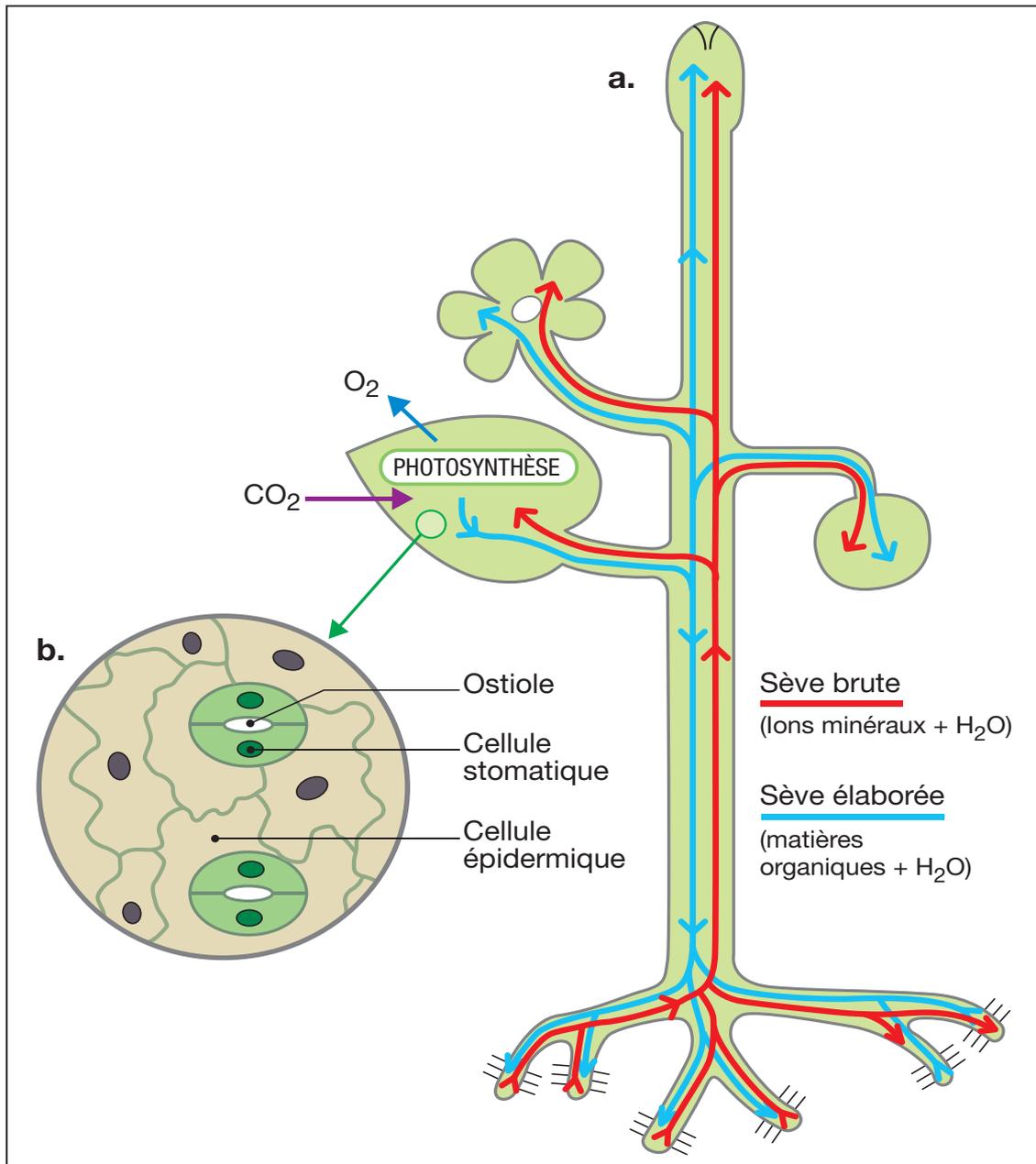
## 4. L'organisation fonctionnelle de la plante

### a. Représenter l'organisation fonctionnelle de la plante (figure a)

Mettre en évidence les lieux d'absorption des ions minéraux et de l'eau (poils absorbants des racines) et du  $\text{CO}_2$  (au niveau des feuilles), le lieu de synthèse des matières organiques (photosynthèse) dans les feuilles ainsi que la circulation de la sève brute et de la sève élaborée.

### b. Représenter un stomate (figure b)

Représenter l'orifice (ostiole), limité par deux cellules chlorophylliennes.



**c. Reconnaître les tissus d'une feuille** (photo 1)

Repérer les deux épidermes, leur cuticule ainsi que des stomates dans l'épiderme inférieur, et les parenchymes chlorophylliens : le tissu palissadique dans la région supérieure et le tissu lacuneux (grande surface d'échanges).

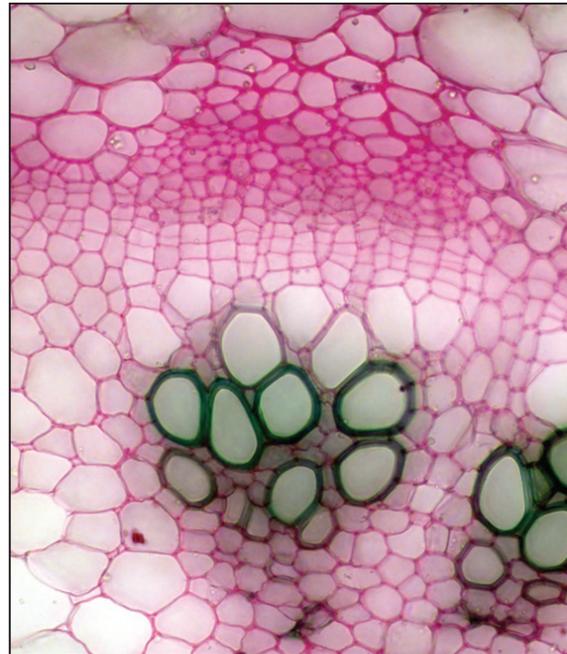


ph© Hervé Conge

Photo 1

**d. Reconnaître les tissus conducteurs d'une tige en coupe transversale** (photo 2)

Repérer les vaisseaux conducteurs de la sève brute colorés en vert et les tubes criblés, colorés en rouge, véhiculant la sève élaborée.



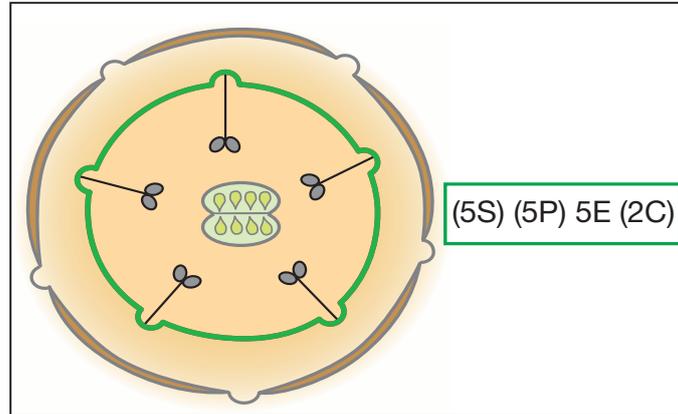
ph© David Busti/ENS de Lyon

Photo 2

## 5. La reproduction de la plante

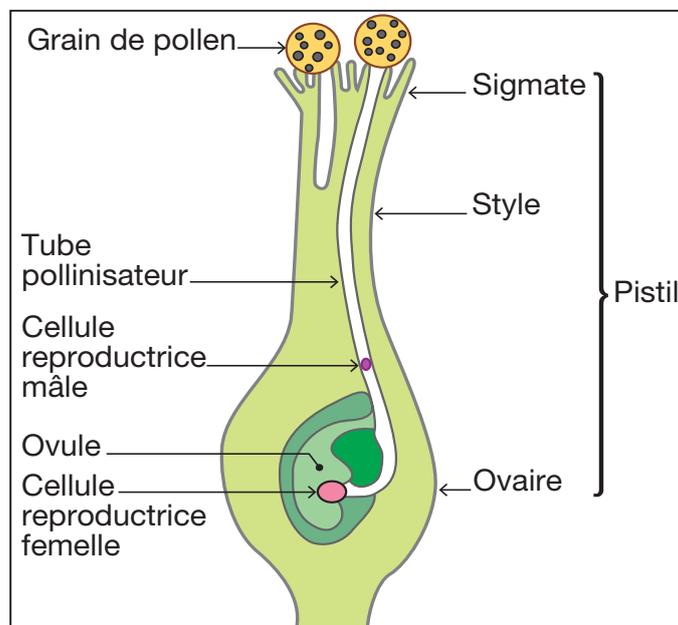
### a. Reconnaître l'organisation de la fleur

Lire un diagramme floral en déterminant les éléments constitutifs (sépalés, pétales, étamines et carpelles). En tirer la formule florale de la plante en indiquant les éléments soudés entre parenthèses.



### b. Représenter la fécondation

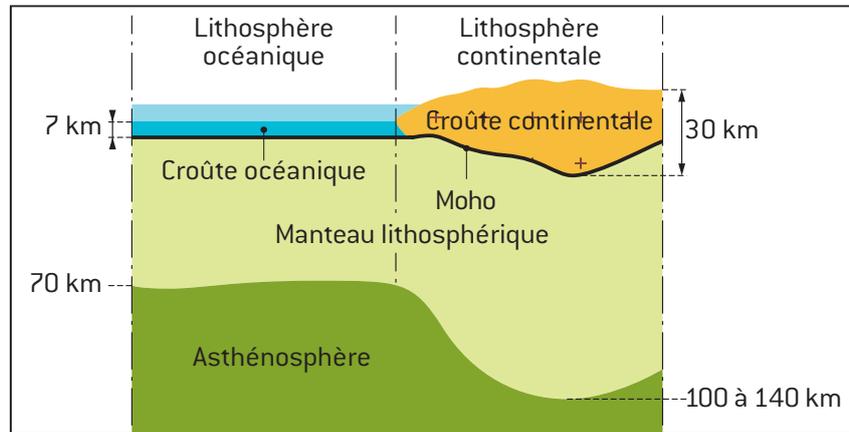
Schématiser un pistil en indiquant ses trois parties : stigmate, style et ovaire. Placer un ovule dans l'ovaire et y localiser le gamète femelle. Placer un grain de pollen sur le stigmate et dessiner le tube pollinique qui en dérive, vecteur d'un gamète mâle atteignant le gamète femelle.



## 6. Deux frontières océan-continent (marges)

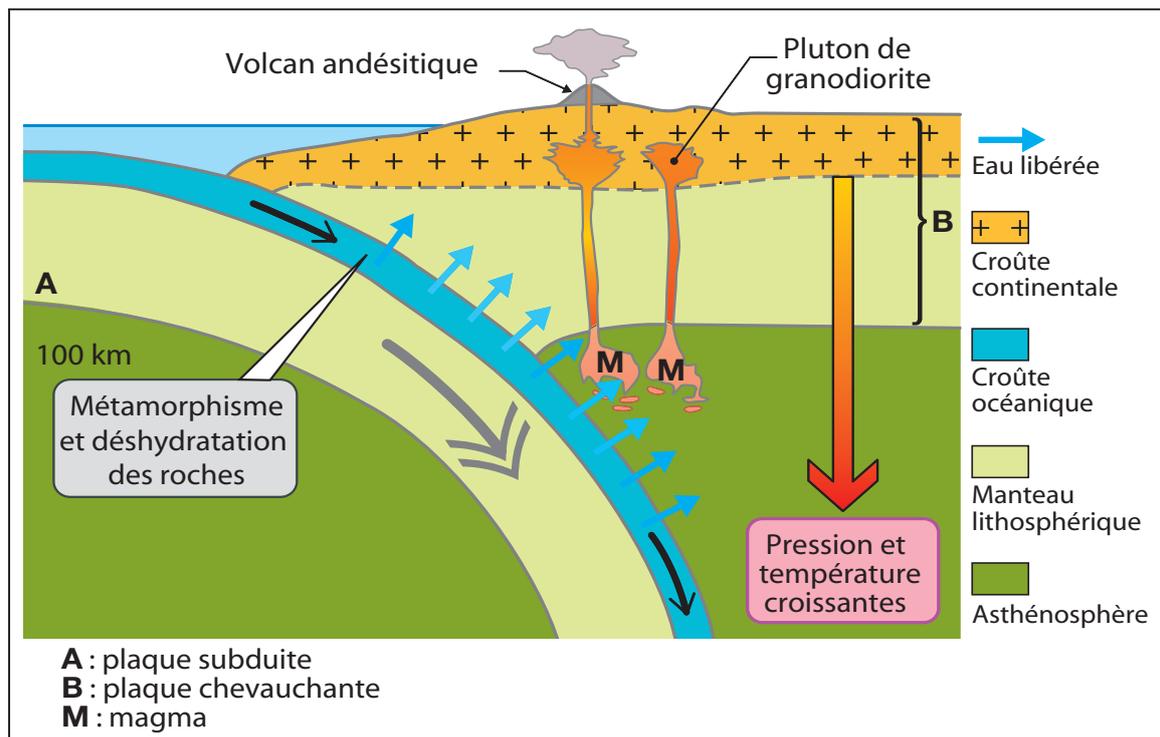
### a. Représenter les lithosphères océanique et continentale (marge passive)

Utiliser des couleurs différentes pour les deux croûtes, le manteau lithosphérique et l'asthénosphère. Indiquer la profondeur des différentes limites.



### b. Représenter une marge active : subduction et magmatisme associés

Représenter la plaque plongeante et la plaque chevauchante. Dans la croûte continentale, représenter un pluton granodiorite et un volcan en relation avec une chambre magmatique. À l'aplomb du volcan, placer la zone de genèse du magma à la limite lithosphère-asthénosphère (vers 100 km de profondeur). Matérialiser le lien entre le métamorphisme de la croûte océanique plongeante et le magmatisme de la plaque chevauchante à l'aide de flèches symbolisant l'eau libérée gagnant la zone de genèse du magma.



## 7. Trois roches caractéristiques de la croûte continentale

### Reconnaître à l'œil nu granite, gneiss et migmatite

#### ► Granite (photo 1)

De couleur claire et de structure grenue, présentant trois minéraux caractéristiques sans disposition particulière : le quartz (1), translucide, les feldspaths (2), en général de couleur blanche, le mica noir (3), paillettes noir brillant.



ph© Natural History Museum of London/  
Biosphoto

Photo 1

#### ► Gneiss (photo 2)

De couleur claire et de texture foliée avec alternance de lits clairs (quartz et feldspaths) et sombres (mica noir).

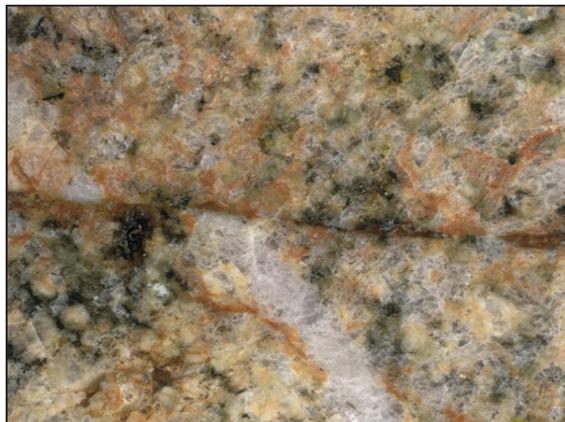


ph© George Bernard/Photoshot/Biosphoto

Photo 2

#### ► Migmatite (photo 3)

Présence de zones présentant une foliation comme le gneiss, et des régions claires sans foliation comme le granite.



ph© De Agostini/Getty Images

Photo 3

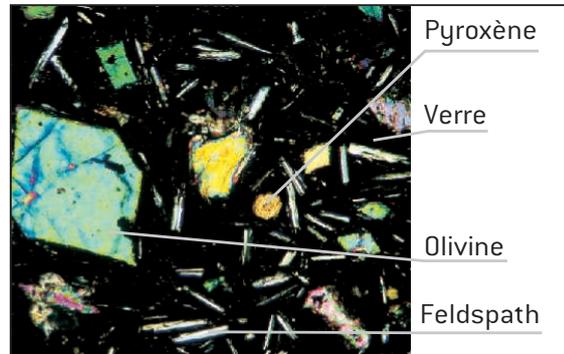


## 8. Les roches constitutives d'une ophiolite

### Reconnaître en lame mince basalte, gabbro et péridotite

#### ► Basalte (photo 1)

Une structure microlitique, avec des cristaux de pyroxène (orange), d'olivine (bleu) et de feldspaths (blancs et noir).

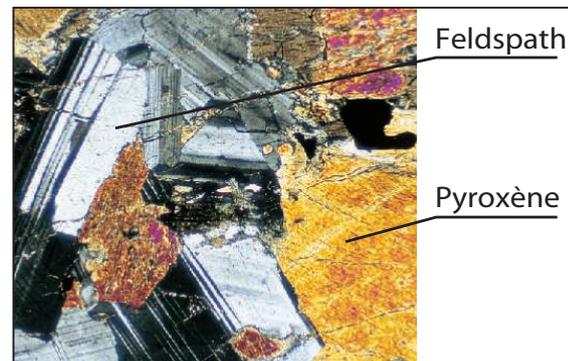


ph© Hervé Conge

Photo 1

#### ► Gabbro (photo 2)

Une structure grenue et présentant les mêmes minéraux que le basalte.

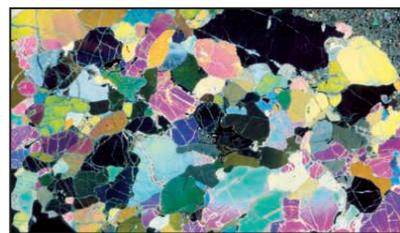


ph© Hervé Conge

Photo 2

#### ► Péridotite (photo 3) :

Une structure grenue contenant essentiellement de l'olivine de couleurs vives, quelques feldspaths et un peu de pyroxène (vert).



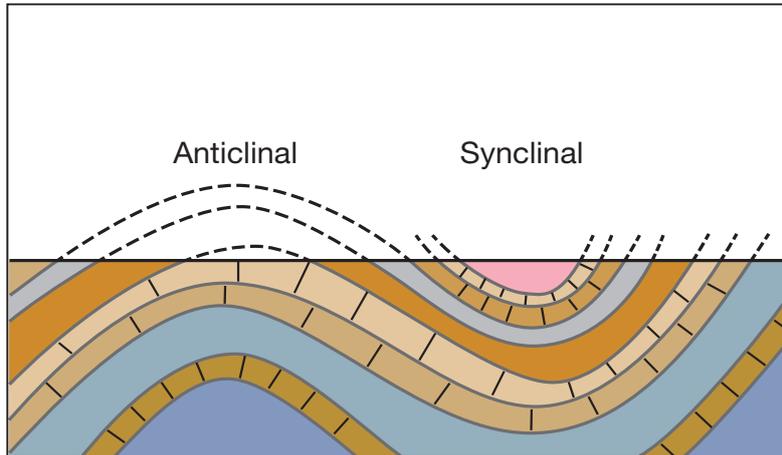
Ph© Dirk Wiersma/  
SPL/Biosphoto

Photo 3

## 9. Les déformations tectoniques associées à un raccourcissement

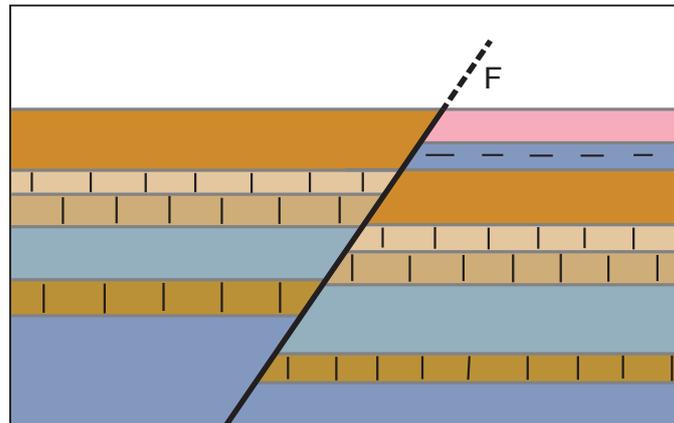
### a. Représenter des plis anticlinal et synclinal

Veiller à présenter les couches plissées en les faisant se correspondre d'un point à un autre, avec une épaisseur constante et en leur donnant un figuré permettant de les suivre sur l'ensemble du schéma.



### b. Représenter une faille inverse

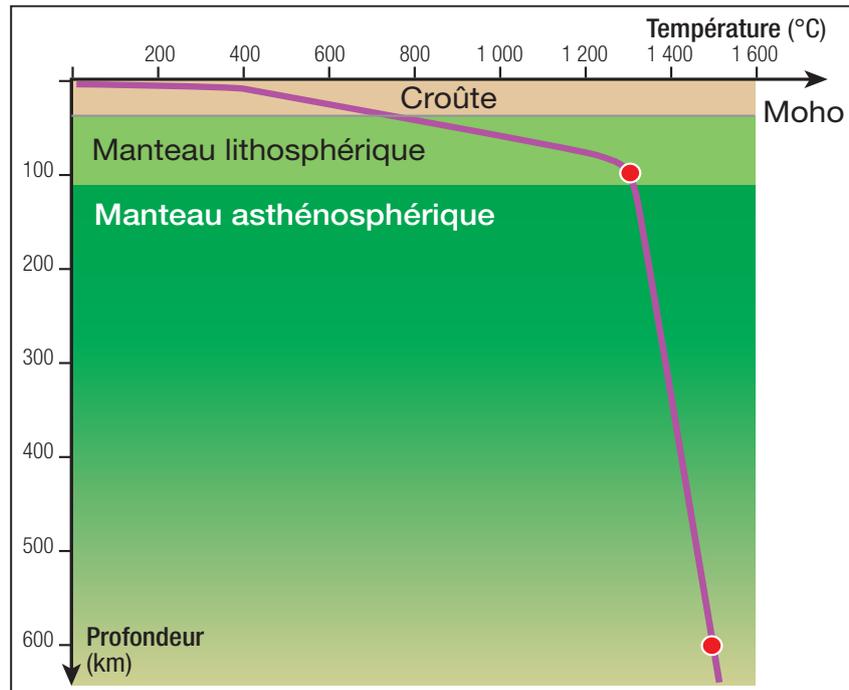
Représenter la faille (F) par un trait incliné (par exemple de droite à gauche). Figurer les couches du compartiment à gauche de la faille surélevées par rapport à celles de droite.



## 10. Le flux thermique

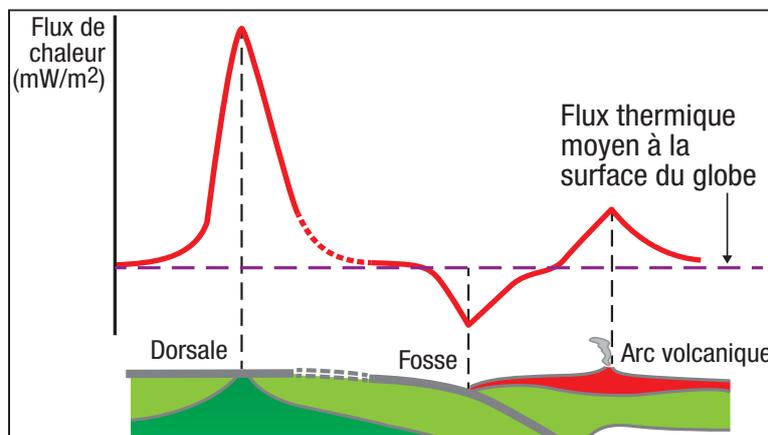
### a. Représenter un gradient géothermique dans la lithosphère et l'asthénosphère

Placer les profondeurs en ordonnées et les températures en abscisses. Localiser la limite lithosphère-asthénosphère vers 100 km de profondeur et situer le point de coordonnées (1 300 °C ; 100 km). Tracer la courbe du géotherme de 0 à 1 300 °C puis la poursuivre jusqu'au point (1 500 °C ; 600 km).



### b. Représenter le flux thermique et dynamique du globe

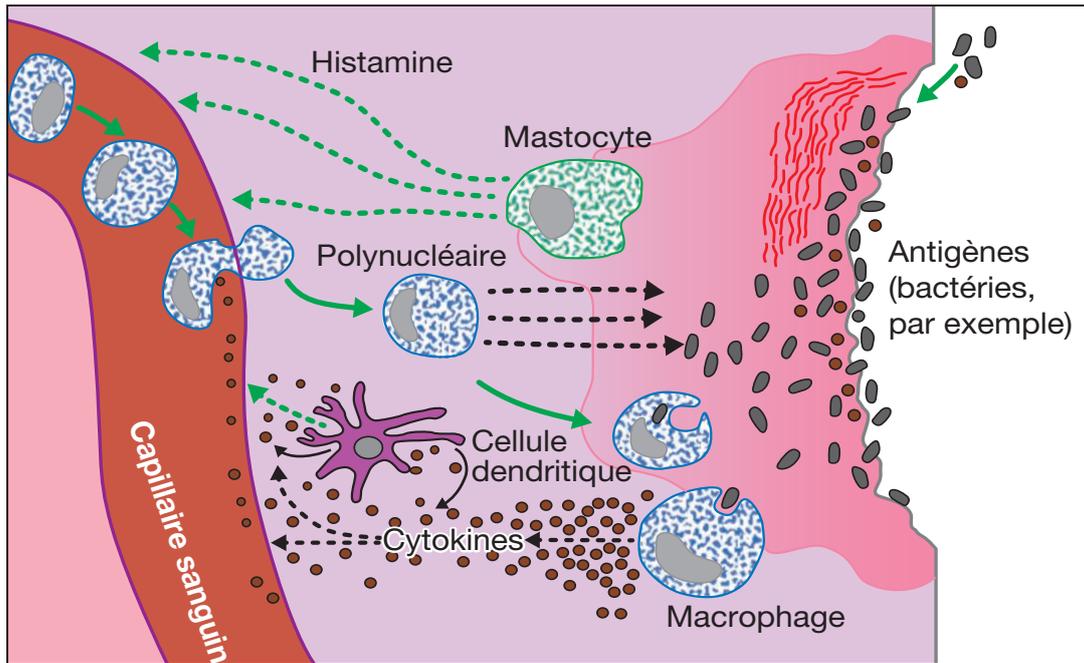
Représenter par une ligne horizontale le flux thermique moyen à la surface du globe puis indiquer, par rapport à ce flux moyen, un flux très important à l'axe de la dorsale, plus faible au niveau de la fosse de subduction et élevé au niveau de l'arc volcanique.



## 11. Deux aspects des réactions immunitaires

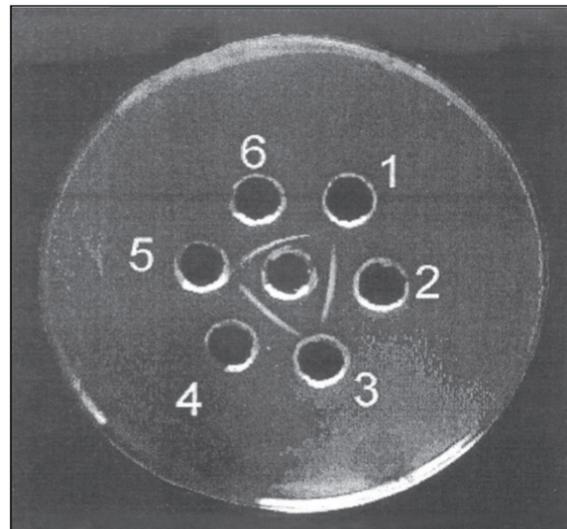
### a. Reconnaître les acteurs d'une réaction immunitaire innée : la réaction inflammatoire

Noter la phase de reconnaissance des bactéries par des mastocytes, des macrophages et des cellules dendritiques, entraînant la sécrétion de cytokines. Repérer la diapédèse vers le site d'inflammation. Enfin, reconnaître la phase de phagocytose.



### b. Reconnaître un aspect de la réaction immunitaire adaptative : le complexe immun

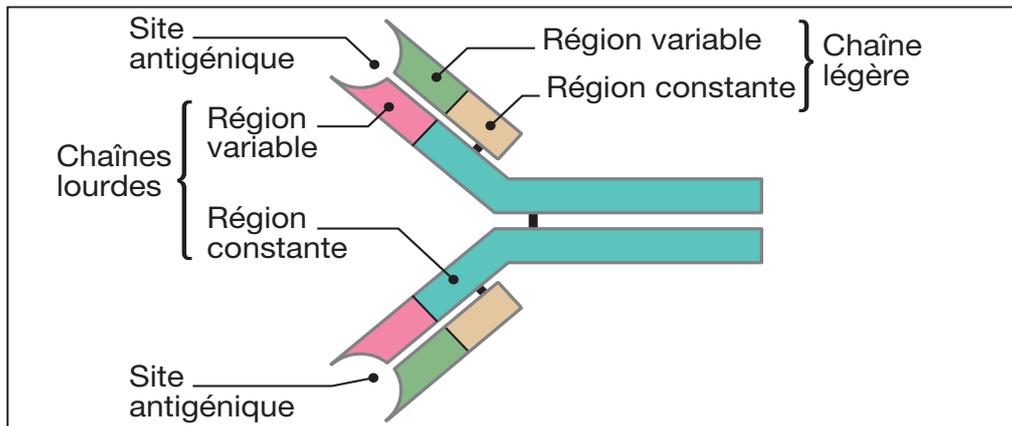
Repérer les traits entre le puits central contenant un antigène et les puits contenant du sérum d'individu ayant développé une réaction immunitaire adaptative à cet antigène (puits 2, 4 et 6). Ces traits sont des arcs de précipitation révélant la présence de complexes immuns, et donc d'anticorps dans les sérums des puits concernés.



## 12. Les anticorps

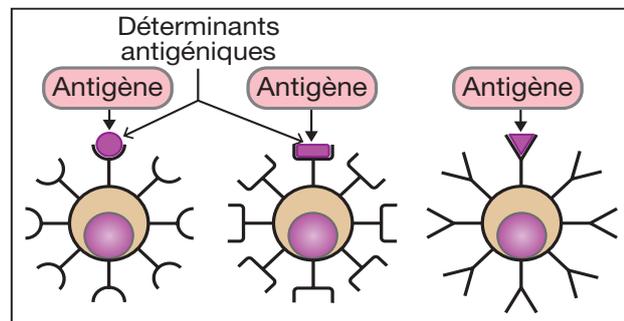
### a. Représenter un anticorps circulant (effecteur)

Traduire par des couleurs l'identité des deux chaînes lourdes et des deux chaînes légères ainsi que la partie constante et la partie variable de chaque chaîne. Matérialiser les deux sites de reconnaissance de l'antigène (site antigénique).



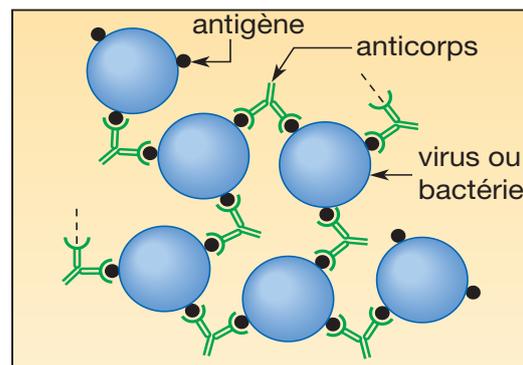
### b. Représenter la spécificité des lymphocytes B par leurs anticorps membranaires

Représenter chaque anticorps membranaire de façon très simplifiée avec un seul site antigénique. Traduire le fait que chaque lymphocyte B diffère des autres lymphocytes B par un type d'anticorps membranaire propre, tous les anticorps membranaires étant identiques pour un même lymphocyte B.



### c. Représenter des anticorps circulants et la formation de complexes immuns

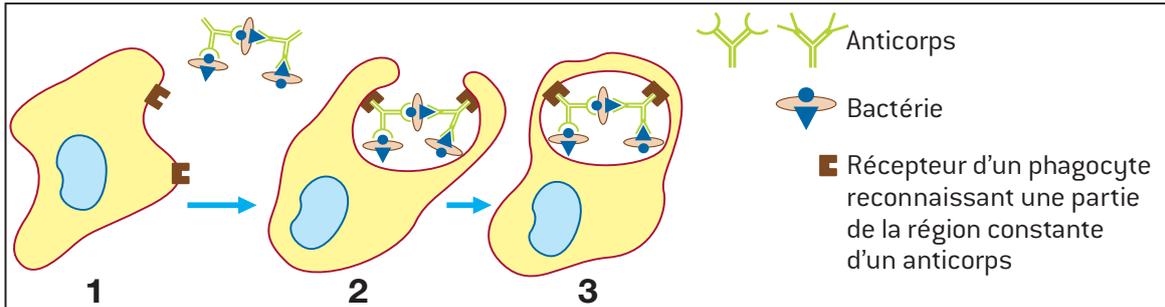
Représenter des anticorps identiques, avec leurs deux sites reconnaissant chacun un même antigène constituant d'un virus ou d'une bactérie, et traduire que l'ensemble forme un complexe immun grâce aux ponts créés par les anticorps.



## 13. Deux aspects de la réaction immunitaire adaptative

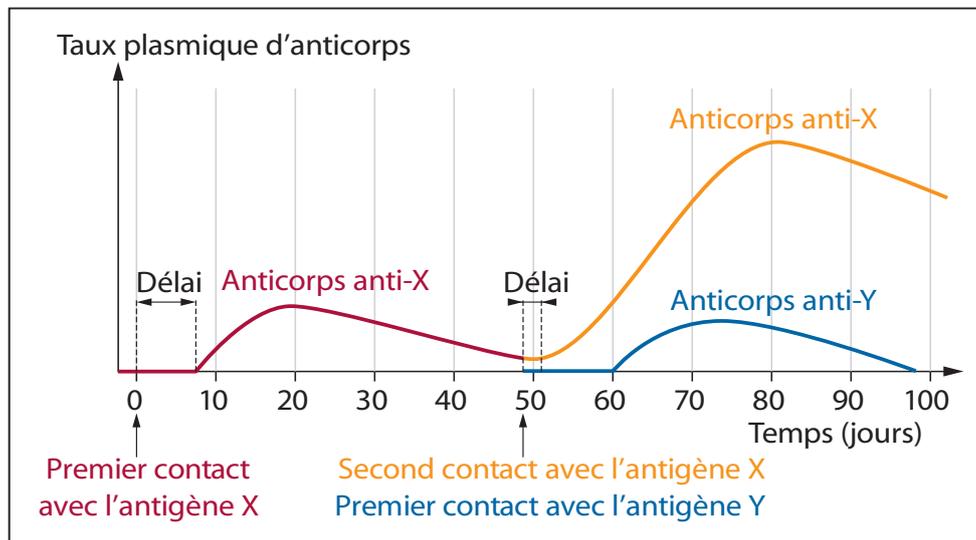
### a. Représenter la phagocytose par l'intermédiaire des anticorps

Représenter une cellule phagocytaire et un complexe immun (1). Schématiser l'invagination du phagocyte, consécutive à la fixation des anticorps par leur partie constante à des récepteurs du phagocyte (2). Représenter la vésicule de phagocytose (3).



### b. Représenter une manifestation de la mémoire immunitaire

Représenter les deux injections du même antigène séparées dans le temps. Différencier la réponse secondaire de la réponse primaire (délai plus court, production plus importante d'anticorps). Traduire la spécificité de la mémoire en figurant une réponse primaire à un deuxième antigène.

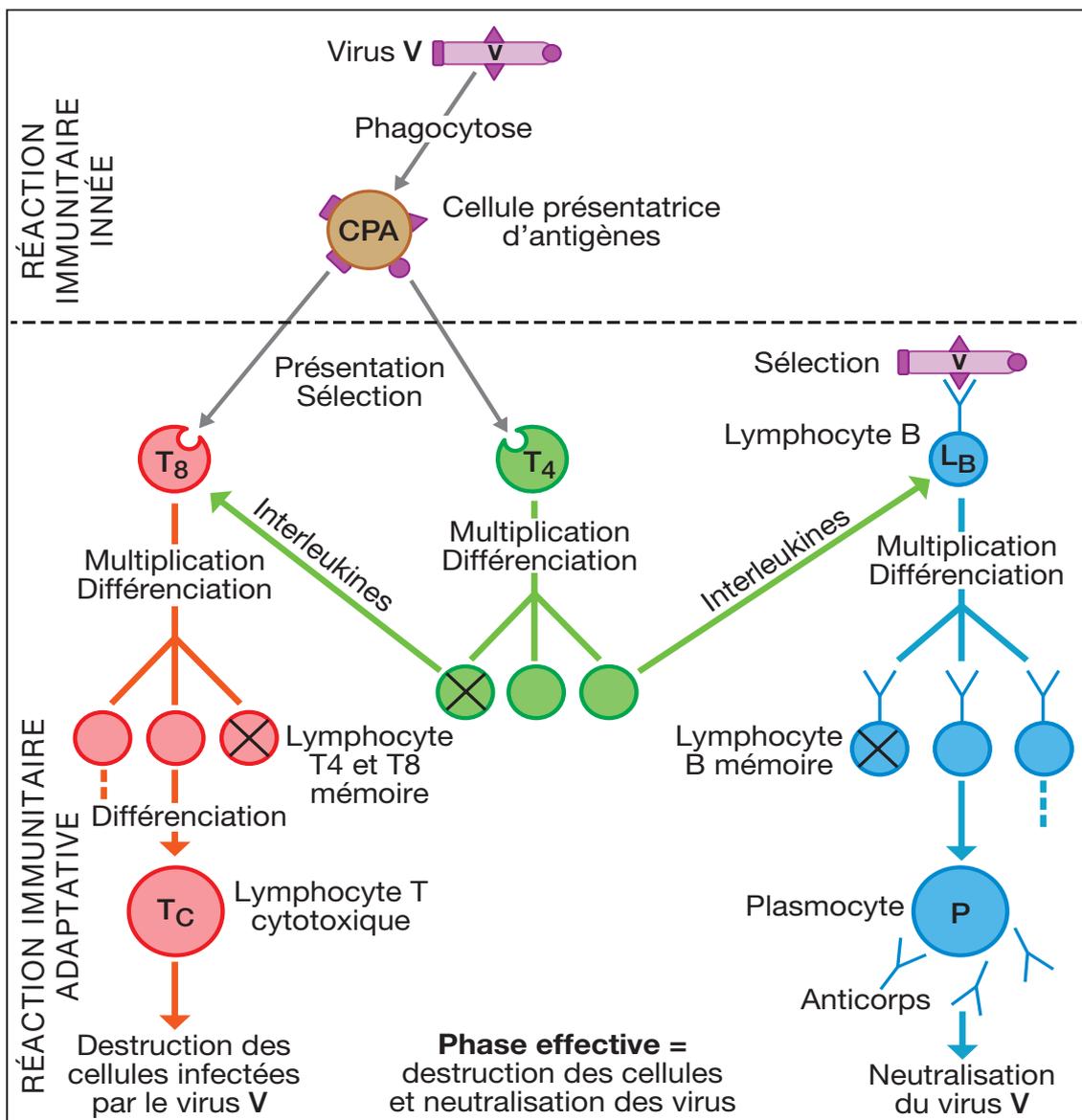


## 14. Les réactions immunitaires innée et adaptative

### Représenter le déroulement des réactions immunitaires

Figurer la reconnaissance par les lymphocytes T4 (TCD4) et T8 (TCD8) des antigènes présentés par les CPA (cellules présentatrices d'antigènes) et la reconnaissance directe des antigènes par les lymphocytes B. Traduire que l'activation des lymphocytes T8 et des lymphocytes B se fait par l'intermédiaire des interleukines sécrétées par les lymphocytes T4 activés.

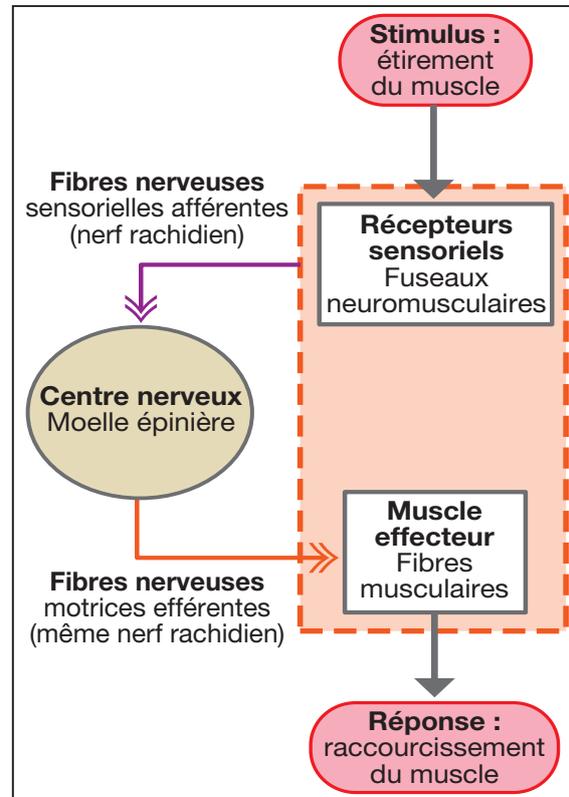
Matérialiser les phases successives de la réaction immunitaire adaptative après la reconnaissance : multiplication puis différenciation en cellules effectrices et en cellules mémoires, phase effectrice.



## 15. L'arc réflexe myotatique

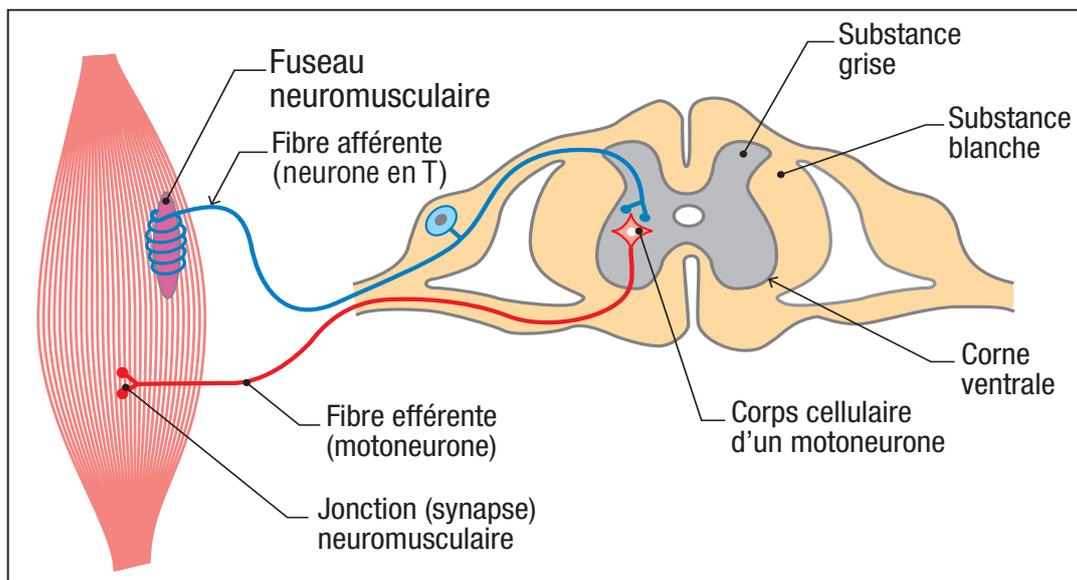
### a. Représenter l'organisation générale du réflexe

Bien mettre en évidence les cinq éléments du réflexe myotatique et le fait que le muscle est à la fois capteur et effecteur.



### b. Représenter l'arc réflexe myotatique à l'échelle cellulaire

Représenter un neurone afférent dont le corps cellulaire est localisé dans le ganglion spinal, et un neurone efférent dont le corps cellulaire est localisé dans la corne ventrale. Relier la fibre afférente à un fuseau neuromusculaire et la fibre efférente à une cellule musculaire.



## 16. Des éléments du réflexe myotatique

### a. Reconnaître une coupe transversale de moelle épinière

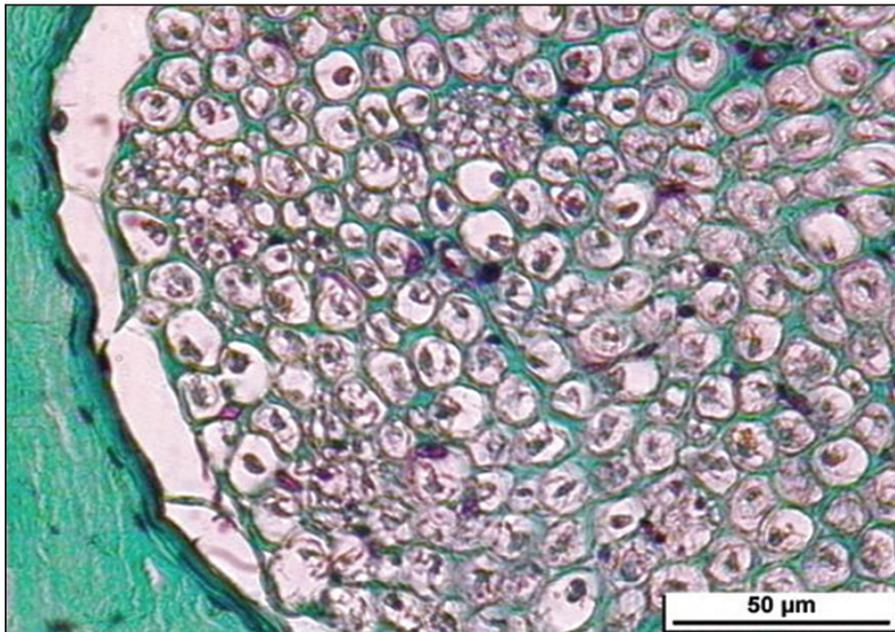
Distinguer la substance grise en forme de X, au centre, entourée de la substance blanche périphérique. Reconnaître la racine dorsale, présentant le ganglion spinal et la racine ventrale.



ph © Hervé Conge

### b. Reconnaître un nerf en coupe transversale

Repérer les faisceaux de fibres nerveuses, chaque fibre se présentant comme un disque et certaines présentant un point noir au centre (axone) entouré d'une zone claire bordée de noir.



d'après Académie de Rennes-site SVT - www.ac-rennes.fr/  
pedagogie/SVT



## 17. La jonction neuromusculaire

### a. Reconnaître les éléments d'une synapse neuromusculaire

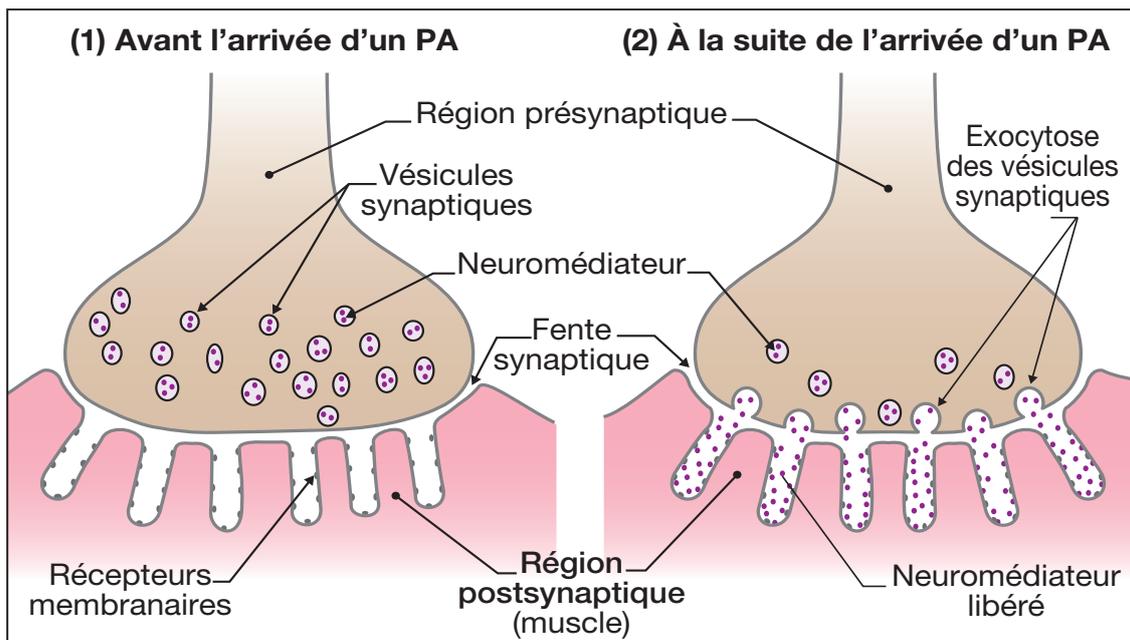
Reconnaître l'élément présynaptique (extrémité de l'axone d'un motoneurone) grâce aux vésicules qu'il renferme, l'espace (fente) synaptique et l'élément postsynaptique constitué par une fibre musculaire dont la membrane présente des replis.



ph © Visuals Unlimited, I/BSIP

### b. Représenter le fonctionnement de la synapse neuromusculaire

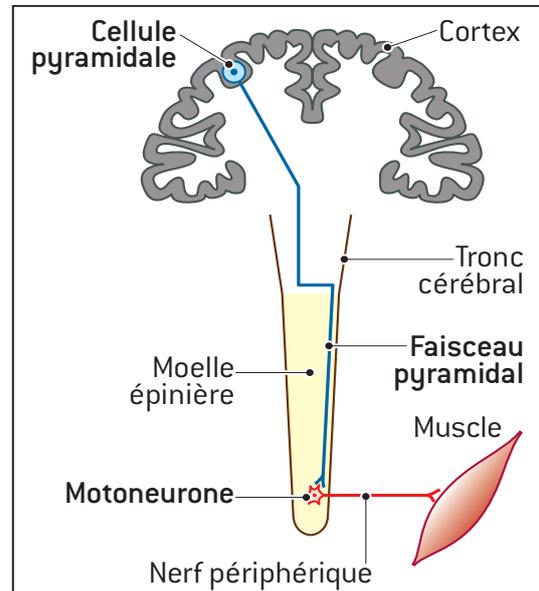
Représenter la synapse au repos (1) puis la synapse suite à l'arrivée d'un potentiel d'action (2). À l'arrivée du potentiel d'action (PA), bien matérialiser l'exocytose des vésicules synaptiques et la libération du neuromédiateur dans la fente synaptique, ainsi que sa fixation sur des récepteurs membranaires de la région postsynaptique.



## 18. La motricité nerveuse

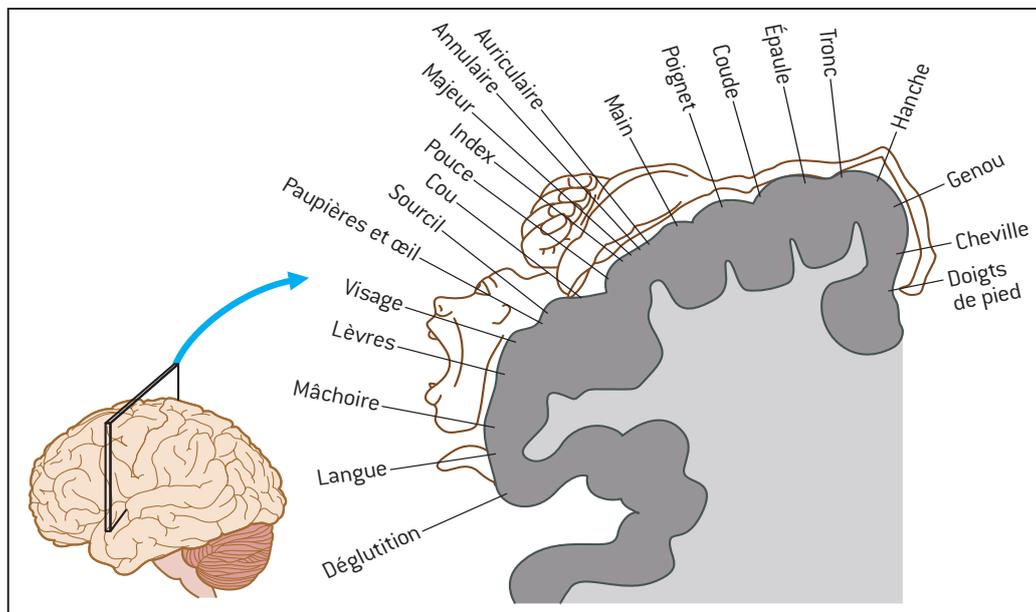
### a. Représenter le trajet suivi par le message nerveux volontaire

Représenter une coupe des hémisphères cérébraux, y localiser le corps cellulaire d'un neurone du cortex moteur, et la moelle épinière en y plaçant le corps cellulaire d'un motoneurone. Après un croisement au niveau du bulbe rachidien, l'axone du neurone cortical rejoint le corps cellulaire d'un motoneurone (synapse).



### b. Reconnaître la représentation du corps au niveau du cortex moteur

Reconnaître une projection des différentes régions du corps dans le cortex moteur. Remarquer que leur importance n'est pas proportionnelle à leur masse musculaire mais à la complexité et à la précision des mouvements à réaliser.



# Le lexique

## A B C

### Aire motrice

Surface délimitée du cortex cérébral, située dans la région postérieure du lobe frontal. Le cortex moteur est impliqué dans le contrôle des mouvements volontaires.

### Albédo

Rapport entre l'énergie solaire réfléchi par une surface et l'énergie solaire reçue par cette même surface. Sa valeur est comprise entre 0 (noir parfait) et 1 (miroir).

### Anticorps (ou immunoglobuline)

Protéine sécrétée par les lymphocytes B sécréteurs (ou plasmocytes) en réponse à la présence d'un antigène spécifique, et capable de neutraliser ce dernier en se liant à lui pour former un complexe immun. Les anticorps sont des molécules effectrices de l'immunité acquise.

### Antigène

Toute substance reconnue par le système immunitaire et qui est à l'origine de l'apparition d'anticorps ou de lymphocytes T cytotoxiques.

### Arc réflexe

Ensemble fonctionnel nerveux qui relie un récepteur sensoriel à un effecteur *via* un centre nerveux. Le neurone afférent sensoriel relie le récepteur sensoriel au centre nerveux, et le neurone efférent moteur (motoneurone) relie le centre nerveux à l'effecteur. L'arc réflexe le plus simple (réflexe myotatique) ne comprend qu'un neurone afférent et un motoneurone et ne présente qu'une seule synapse : il est dit monosynaptique.

### Arc volcanique (ou magmatique, ou encore insulaire)

Guirlande d'îles volcaniques dessinant un arc convexe vers le large ; c'est l'un des marqueurs de certaines zones de subduction.

### Asthénosphère

Partie du manteau située sous la lithosphère et formant, avec la base de celle-ci, le manteau supérieur. Elle est moins rigide que la lithosphère ; dans les zones de subduction, la densité de la lithosphère est telle qu'elle peut s'enfoncer dans l'asthénosphère.

### ATP

L'adénosine triphosphate ou ATP est la source principale d'énergie pour toutes les cellules animales ou végétales, chlorophylliennes ou non. Sa synthèse, qui provient de la dégradation de la matière organique, a lieu dans le cytoplasme (glycolyse) et surtout dans la mitochondrie (respiration). Dans le chloroplaste, l'ATP synthétisé au cours de la phase photochimique de la photosynthèse est utilisé durant la phase non photochimique : il n'est donc pas livré à la cellule chlorophyllienne.

### Brassage interchromosomique

Il est responsable de la mise en place de nouvelles combinaisons d'allèles. Celles-ci résultent du comportement indépendant des différentes paires de chromosomes homologues lors de la séparation de ces derniers à la métaphase – anaphase de la première division de la méiose (complété par le comportement indépendant des couples de chromatides lors de la deuxième division de la méiose).

### Brassage intrachromosomique

Il est responsable de la création de nouvelles associations d'allèles par échanges de fragments (crossing-over) entre les chromatides non sœurs des chromosomes homologues au cours de la prophase de la première division de la méiose.

### Caractères homologues

Structures présentes chez des espèces différentes et dérivant d'une même



structure ancestrale. Les caractères homologues peuvent être morphologiques, anatomiques ou embryonnaires, mais également moléculaires (gènes homologues).

### **Cellule germinale**

Cellule à l'origine des gamètes (elle a subi ou subira la méiose).

### **Cellule somatique**

Cellule qui ne subira jamais la méiose ; autrement dit, cellule n'appartenant pas à la lignée germinale.

### **Charriage**

Phénomène tectonique qui entraîne un ensemble de terrains à recouvrir d'autres formations géologiques, créant ainsi un contact anormal. Son amplitude varie de quelques kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres.

### **Coévolution**

Évolution conjointe de deux espèces ayant des relations. Par exemple, l'évolution d'une plante à fleurs et celle de son insecte pollinisateur.

### **Collision**

Elle caractérise les zones de convergence où les lithosphères continentales de deux plaques différentes entrent en contact à la suite d'une subduction ; elle conduit à l'édification d'une chaîne de montagnes.

### **Conduction**

Transfert de chaleur, sans déplacement de matière, entre deux régions d'un même milieu présentant des températures différentes, ou par contact entre deux milieux à températures différentes.

### **Convection**

Transfert de chaleur par déplacement de matière dans le milieu, contrairement à la conduction.

### **CPA**

Les cellules présentatrices d'antigène (macrophages, cellules dendritiques) stimulent une réponse immunitaire adaptative en présentant aux lymphocytes T

des peptides issus de la phagocytose d'antigènes.

### **Croûte continentale**

Sous une couverture sédimentaire épaisse de quelques kilomètres au maximum, elle est constituée par des roches magmatiques et métamorphiques de composition globalement granitique. Son épaisseur de 30 km en moyenne atteint de 60 à 70 km sous les chaînes de montagnes.

### **Croûte océanique**

Sous une couverture sédimentaire épaisse de 0 à 2 km, elle est constituée par une couche (moins de 2 km) de basaltes en coussins (*pillow lavas*) surmontant des gabbros (de 4 à 5 km d'épaisseur). Basaltes et gabbros sont des roches magmatiques ayant la même composition, les uns à structure microlithique (basaltes) et les autres à structure grenue (gabbros). L'épaisseur de la croûte océanique est d'une dizaine de kilomètres.

## **D E F**

### **Datation absolue**

Elle permet, en donnant accès à l'âge des roches et des fossiles, de mesurer les durées des phénomènes géologiques. Elle permet également de situer dans le temps l'échelle relative des temps géologiques.

### **Datation relative**

Elle permet d'ordonner chronologiquement des structures (strates, plis, failles, minéraux) et des événements géologiques variés (discordance, sédimentation, intrusion, orogénèse) les uns par rapport aux autres.

### **Dérive génétique ou génique**

Elle peut se produire dans une population isolée à faible effectif. Sur le nombre de gamètes fabriqués à chaque génération, seul un petit nombre d'entre eux est utilisé pour donner naissance à la génération suivante. Étant donné le faible



nombre de reproducteurs, certains génotypes vont disparaître de la descendance et certains allèles seront ainsi perdus : les fréquences alléliques et génotypiques varient ainsi dans la population, de manière aléatoire.

### **Discordance**

Discontinuité de la limite entre une strate de roche sédimentaire et les couches plus anciennes plissées, déformées et souvent érodées sur lesquelles elle repose.

### **Dorsale**

Elle se présente en un alignement de reliefs sous-marins surplombant le plancher océanique de 2 km en moyenne sur une longueur de dizaines de milliers de km. Certaines dorsales présentent en leur axe un fossé d'effondrement, ou rift. La dorsale caractérise une zone en distension où s'écartent deux plaques lithosphériques et où naît du plancher océanique.

### **Duplication génique**

Forme de mutation aboutissant au doublement d'un gène. Par sa répétition, elle est à l'origine des familles multigéniques qui, au sein d'une espèce, sont formées de gènes dérivant d'un même gène ancestral. Les duplications géniques sont responsables de la complexification du génome au cours de l'évolution.

### **Enzymes**

Catalyseurs biologiques de nature protéique qui, en tant que protéines, résultent de l'expression directe de gènes. En tant que catalyseurs biologiques, elles interviennent dans les réactions chimiques du vivant en augmentant leur vitesse tout en se retrouvant intactes à la fin de celles-ci. Ces protéines sont spécifiques d'un substrat ou d'un type de réaction.

### **État ancestral**

État (primitif) d'un caractère qui préexiste à une innovation évolutive le concernant ;

celle-ci est à l'origine d'un nouvel état, qualifié de « dérivé » (évolué).

### **État dérivé**

État (évolué) d'un caractère né d'une innovation évolutive ayant affecté un caractère ancestral (ou primitif).

### **Fécondation**

Union des gamètes mâle et femelle en une cellule unique, l'œuf, ou zygote. La fécondation rétablit la diploïdie en réunissant les lots haploïdes des gamètes.

### **Fosse océanique**

Région caractéristique (marqueur) des zones de subduction où le fond océanique des plaines abyssales, voisin de - 4 km, s'enfonce pour donner une fosse allongée, étroite et profonde, pouvant atteindre voire dépasser les - 10 km. Cette fosse marque la flexion de la plaque subduite qui plonge sous une plaque chevauchante.

### **Fusion partielle**

Fusion de certains minéraux d'une roche donnant naissance à un liquide et à un résidu non fondu ayant chacun une composition chimique différente de celle de la roche mère. À l'origine de la diversité des magmas.

## **G H I**

### **Gène de développement**

Gènes qui interviennent dans la construction d'un organisme à partir de l'œuf. Les plus connus sont les gènes homéotiques. Ils présentent une homologie remarquable chez les animaux : ils sont un héritage de l'ancêtre commun à la majorité des animaux. Des gènes homéotiques différents de ceux des animaux régissent l'organisation de la fleur.

### **Génome**

Ensemble des gènes d'une espèce.

### **Génotype**

Ensemble des gènes d'un organisme. On envisage souvent le génotype impliqué dans l'établissement d'un phénotype :



il se matérialise alors par l'écriture des deux allèles du gène considéré (pour un organisme diploïde).

### **Glycolyse**

Processus se déroulant dans le hyaloplasme de toutes les cellules, au cours duquel une molécule de glucose est dégradée en deux molécules de pyruvate. Cette réaction métabolique produit de l'énergie libre sous forme de deux molécules d'ATP. C'est un préalable indispensable à la respiration mitochondriale.

### **Granitoïde**

Terme désignant l'ensemble des diverses variétés de granites.

### **Hétérozygotie**

Elle est le résultat de l'existence, au sein des populations, de plusieurs formes d'un même gène, les allèles. Dans l'espèce humaine, un individu est hétérozygote pour environ 10 % de ses gènes. En conséquence, les chromosomes homologues portent des allèles identiques (homozygotie) pour certains gènes, et des allèles différents (hétérozygotie) pour d'autres. L'hétérozygotie est responsable de l'efficacité du brassage génétique.

### **Hominidés**

Ensemble regroupant les gorilles, les chimpanzés, les bonobos et les hommes.

### **Homininés**

Ensemble des genres appartenant à la lignée humaine, c'est-à-dire australopithèques et hommes. Toute forme possédant au moins un caractère dérivé possédé uniquement par l'homme actuel appartient à la lignée humaine.

### **Hominoïdes**

Ensemble regroupant les hominidés, les orangs-outans et les gibbons. Ils se caractérisent par l'absence de queue, leurs vertèbres caudales se soudant pour former un coccyx.

### **Hormone**

Substance (molécule) élaborée par des cellules spécialisées, déversée dans le milieu intérieur et véhiculée par la circulation sanguine ; elle agit en se fixant à des récepteurs de cellules cibles, ce qui entraîne une modification de la physiologie de ces dernières.

### **Hybridation**

Croisement de deux individus appartenant à deux variétés de la même espèce (intraspécifique) ou à deux espèces différentes (interspécifique). Elle peut être provoquée par l'homme mais peut également se produire naturellement.

### **Immunité acquise**

Elle se développe tout au long de la vie en réponse aux conditions antigéniques de l'environnement, et résulte du fonctionnement du système immunitaire. Elle est mise en place soit par action naturelle de l'environnement soit par vaccination.

### **Immunité innée**

Première ligne de défense immunitaire, à mise en jeu immédiate (pas de délai) et à large spécificité donc à reconnaissance globale (distinction du soi et du non-soi). Il n'y a pas de mise en mémoire après une réaction immunitaire innée. La mobilisation des mécanismes de l'immunité innée est indispensable au déroulement de la réponse immunitaire adaptative (acquise).

### **Inflammation**

Ses manifestations décelables sont : rougeur, chaleur, œdème, douleur, altération fonctionnelle. Elles traduisent les différentes phases de la réaction inflammatoire : reconnaissance du pathogène par les macrophages et les cellules dendritiques, sécrétion de cytokines, attraction des phagocytes...

### **Innovation génétique**

Mutation ponctuelle ou duplication de gènes ; l'innovation génétique se traduit donc par l'apparition d'un nouvel allèle ou d'un nouveau gène.



## Interleukine

Protéine, sécrétée en particulier par les lymphocytes T4, agissant sur les lymphocytes B et les lymphocytes T8 (précytotoxiques) sélectionnés par l'antigène et provoquant leur expansion clonale et leur différenciation, respectivement en plasmocytes et en lymphocytes T cytotoxiques.

## Isostasie

Application du principe d'Archimède aux éléments constitutifs du globe terrestre : la pesanteur de la lithosphère est équilibrée par la poussée d'Archimède que développe en réponse l'asthénosphère.

## L M

### Lithosphère

Couche la plus externe du globe terrestre ; elle est épaisse de quelques kilomètres au niveau des dorsales, d'une centaine de kilomètres sous les océans et de 150 à 200 kilomètres sous les vieux boucliers continentaux. Elle est formée de la croûte (océanique ou continentale) et de la partie supérieure du manteau. Considérée comme rigide, elle est découpée en plaques mobiles et repose sur le manteau asthénosphérique, plus plastique, moins cassant. En conséquence, les foyers sismiques sont toujours localisés dans la lithosphère.

### Lymphocyte B

Globule blanc né dans la moelle osseuse et qui préexiste à l'entrée d'un antigène. Capable de reconnaître un antigène précis grâce à ses molécules d'anticorps membranaires toutes identiques, il est à l'origine de plasmocytes sécrétant d'anticorps circulants et de lymphocytes B à mémoire, spécifiques de l'antigène reconnu.

### Lymphocyte T8

Né dans la moelle osseuse, un lymphocyte T8, ou lymphocyte T précytotoxique (pré-CTL), préexiste à la pénétration d'un antigène. Les LT8, après reconnaissance d'un antigène précis présenté par les

CPA, sont à l'origine des lymphocytes T cytotoxiques (CTL), effecteurs spécifiques.

### Lymphocytes T4

Globules blancs nés dans la moelle osseuse et qui préexistent à l'entrée d'un antigène ; ils reconnaissent un antigène présenté par une CPA, subissent alors une expansion clonale et une différenciation en lymphocytes T4 sécrétant d'interleukine et en lymphocytes T4 à mémoire. Ils sont porteurs de protéines membranaires CD4 et CCR5, auxquelles le VIH se fixe pour permettre son entrée dans les T4.

### Macrophage

Cellule, présente dans les tissus, capable de phagocyter des antigènes. Porteur de protéines membranaires CD4, un macrophage constitue une des cibles du VIH et, par conséquent, un véritable réservoir à virus lors d'une infection.

### Maladie opportuniste

Maladie normalement combattue efficacement par le système immunitaire, mais qui se développe dramatiquement chez les individus atteints d'immunodéficience.

### Méiose

Elle assure le passage de la phase diploïde à la phase haploïde. Elle suit une phase de réplication de l'ADN et se compose de deux divisions cellulaires successives, qui aboutissent à la naissance de quatre cellules haploïdes. C'est durant la méiose que se produit le brassage génétique.

### Mémoire immunitaire

Elle repose sur l'existence de cellules à mémoire (lymphocytes T4, T8 et B mémoire) spécifiques d'un antigène ; ces cellules résultent d'une réaction immunitaire vis-à-vis de cet antigène. Elles se caractérisent par une durée de vie très longue et une très grande réactivité lors d'un deuxième contact avec l'antigène.



## Métamorphisme

Transformation d'une roche à l'état solide en raison d'un changement de pression et de température se produisant après sa formation. De nouveaux minéraux apparaissent et les roches métamorphiques présentent une structure et une texture différentes de celles de la roche d'origine.

## Monophylétique

Caractère d'un groupe qui comprend une espèce ancestrale et tous ses descendants.

## Motoneurone

Neurone dont le corps cellulaire est situé dans le tronc cérébral ou dans la corne antérieure de la substance grise de la moelle épinière et qui véhicule un message nerveux efférent vers des fibres musculaires. Un motoneurone et les fibres musculaires qu'il innerve constituent une unité motrice. Les motoneurons constituent l'unique voie de sortie du système nerveux central et constituent la voie finale de tout acte moteur.

## Mutation

Modification de la séquence des nucléotides d'une molécule d'ADN par substitution, délétion ou addition d'un ou de plusieurs nucléotides ; ce terme désigne également l'expansion d'un motif constitué de quelques nucléotides. La duplication d'un gène est souvent considérée elle aussi comme une mutation.

## Mutation faux-sens

Elle se traduit par le remplacement d'un acide aminé par un autre dans la séquence polypeptidique ; elle peut être conservatrice, si elle ne modifie pas les propriétés du polypeptide, ou non conservatrice si elle les modifie.

## Mutation neutre

Mutation échappant à la sélection naturelle et pouvant, de façon aléatoire, se répandre dans une population ou disparaître.

## Mutation non-sens

Elle transforme un triplet de nucléotides codant pour un acide aminé en un codon

STOP ; cela entraîne la production d'un polypeptide tronqué, généralement non fonctionnel.

## Mutation silencieuse

Par suite de la redondance du code génétique, elle n'entraîne aucune modification dans la séquence des acides aminés.

## **O P**

## Ophiolites

Ensemble de roches (basaltes, gabbros et péridotites ou serpentinites) que l'on trouve dans les chaînes de montagnes et qui sont des fragments de la croûte océanique et du manteau supérieur ramenés en surface. Ces ophiolites peuvent être métamorphisées, et elles témoignent alors de la subduction d'une croûte océanique ; non métamorphisées, elles ont été charriées sur la croûte continentale sans avoir subi de subduction au préalable.

## Palynologie

Étude des pollens et spores conservés dans les couches sédimentaires. Elle permet de reconstituer les conditions climatiques qui régnaient au moment de leur fossilisation.

## Phagocytose

Mécanisme de l'immunité innée réalisé par des macrophages et des polynucléaires. Par ce processus, des particules volumineuses (poussières, débris cellulaires, bactéries...) sont éliminées après avoir été ingérées, par une digestion intracellulaire se déroulant dans des vacuoles de phagocytose ou phagolysosomes riches en enzymes.

## Phase asymptomatique

Période de l'infection par le VIH sans manifestation pouvant évoquer une maladie, si ce n'est parfois des ganglions lymphatiques gonflés ; elle dure en moyenne 10 ans, mais sa durée est en réalité très variable (de 1 à 16 ans et plus).



### Phase diploïde

Période durant laquelle l'organisme considéré est constitué d'une ou de plusieurs cellules diploïdes, c'est-à-dire d'une ou de plusieurs cellules possédant deux lots de chromosomes homologues ( $2n$  chromosomes).

### Phase haploïde

Période durant laquelle l'organisme considéré est constitué d'une ou de plusieurs cellules haploïdes, c'est-à-dire d'une ou de plusieurs cellules possédant  $n$  chromosomes (un chromosome de chaque paire existant dans la ou les cellules du même organisme lors de la phase diploïde).

### Phénotype immunitaire

Il correspond, à un moment donné, aux clones présents dans l'organisme de lymphocytes B et T (T8 et T4), de cellules-mémoire, de cellules effectrices (plasmocytes, CTL) et de molécules effectrices (anticorps).

### Phloème

Tissu conducteur des végétaux vasculaires où circule la sève élaborée. Constitué par des tubes criblés formés par l'alignement de cellules vivantes (sans noyau) dont les parois longitudinales et transversales présentent des pores (cribles). Le phloème est coloré en rose par le carmin aluné.

### Plan de Benioff (ou plan de Wadati-Benioff)

Région grossièrement plane, formant un angle de 20 à 80 degrés, où sont localisés les foyers des séismes dans une zone de subduction. Le plan de Benioff traduit l'enfoncement d'une plaque lithosphérique sous une autre plaque.

### Plasmocyte

Cellule effectrice sécrétrice d'anticorps. Les plasmocytes naissent de lymphocytes B à la suite d'une réaction immunitaire. Ils sont également nommés lymphocytes B sécréteurs.

### Polyplôidie

Se dit d'une espèce dont le cariotype est constitué de plus de 2 jeux de  $n$  chromosomes.

### Primates

Ordre de la classe des mammifères où l'on regroupe des espèces possédant les caractères dérivés suivants : pouce opposable aux autres doigts, boîte crânienne volumineuse par rapport à la face, présence d'ongles.

### Primo-infection

Première phase de l'infection par le VIH ; elle est marquée par des symptômes discrets, comparables à ceux d'une maladie virale bénigne, comme une grippe légère (fièvre et douleurs musculaires).

### R S T V X

### Racine crustale

Elle est constituée par des écailles de manteau lithosphérique coincées dans la croûte et faisant partie des chevauchements affectant celle-ci dans certaines régions des chaînes de collision. Elle témoigne du raccourcissement et de l'épaississement (plus de 70 km) de la croûte continentale sous les chaînes de montagnes.

### Radiochronologie

Ensemble de méthodes permettant de donner un âge absolu à des minéraux, des roches ou des fossiles en mesurant leur teneur en un élément radioactif (élément père) et celle du produit (élément fils) provenant de sa désintégration.

### Relation de parenté

Deux espèces A et B sont plus étroitement apparentées l'une avec l'autre qu'elles ne le sont avec une espèce C si elles possèdent un ancêtre commun qu'elles ne partagent pas avec C. Cela signifie qu'elles possèdent des états dérivés hérités de cet ancêtre commun, états dérivés que ne possède pas C.



### Sélection massale

Sélection à chaque génération des variants d'une population présentant le plus nettement, le (ou les) caractère(s) recherché(s).

### Sélection naturelle

Elle résulte du fait qu'une innovation génétique peut se répandre ou non dans une population suivant qu'elle confère ou non une plus grande capacité de survie ou de reproduction aux individus qui la présentent par rapport à ceux qui ne la possèdent pas.

### Séropositivité

Elle se traduit par la présence, dans le milieu intérieur, d'anticorps spécifiques d'antigènes caractéristiques, d'une bactérie ou d'un virus...

### Sida

Syndrome de l'immunodéficience acquise ; stade terminal de l'infection due au VIH.

### Solidus

Une roche étant constituée par un assemblage de minéraux de compositions chimiques différentes, elle ne se comporte pas comme un corps pur qui fond à une température précise. À une pression donnée, une partie des minéraux commencent à fondre à une certaine température, tandis que les autres restent à l'état solide : la roche subit une fusion partielle. Cette dernière ne devient totale qu'à une température plus élevée. Dans un diagramme température – pression, le solidus désigne la courbe de fusion commençante de la roche.

### Subduction

Phénomène caractéristique des zones de convergence où la lithosphère océanique disparaît, soit sous une lithosphère continentale, soit sous une autre lithosphère océanique. Elle est caractérisée par un certain nombre de marqueurs qui en sont la conséquence.

### Symbiose

Association à bénéfice réciproque, étroite et durable entre deux organismes.

### Synapse

Zone de connexion entre l'extrémité de l'axone (bouton synaptique) d'un neurone et une autre cellule. Elle comporte une région présynaptique caractérisée par la présence de vésicules synaptiques, un espace (ou fente) synaptique et une région postsynaptique dépourvue de vésicules. La synapse est polarisée : le message nerveux est uniquement transmis dans le sens présynaptique – postsynaptique grâce à un neuromédiateur contenu et libéré par les vésicules synaptiques.

### Tétrapodes

Vertébrés possédant quatre membres locomoteurs munis de doigts.

### Transfert viral

Certains virus incorporent leur ADN à celui d'autres êtres vivants. Certains des gènes viraux peuvent continuer à s'exprimer chez l'hôte, et sont source de diversité génétique qui entraîne la diversité phénotypique.

### Transgénèse

Technique consistant à introduire un ou plusieurs gènes dans le génome d'un organisme vivant. Elle permet d'obtenir de nouvelles espèces animales ou végétales résistant aux parasites, aux insectes ou à des conditions climatiques négatives. Les organismes issus de la transgénèse constituent l'ensemble des organismes génétiquement modifiés (OGM).

### VIH

Virus de l'immunodéficience humaine, c'est-à-dire virus du Sida.

### Xylème

Tissu conducteur des végétaux vasculaires où circule la sève brute. Chaque vaisseau du xylème est constitué d'un alignement de cellules mortes plus ou moins lignifiées. Le xylème est coloré en vert par le vert d'iode.



## LE N°1 DES SITES D'ENTRAÎNEMENT ET DE RÉVISIONS DE LA 3<sup>E</sup> À LA TERMINALE



**AVEC CE LIVRE, ACCÈDE GRATUITEMENT  
AUX 9 000 RESSOURCES D'ANNABAC.COM**



**Fiches de cours**



**Cours audio**



**Exercices corrigés**



**Cours vidéo**



**Annales corrigées**



**Parcours de révisions**



**Quiz**



**Plannings et tableaux de bord**

**CONFORME AUX NOUVEAUX PROGRAMMES**



موقع مراجعة باكالوريا  
**BAC.MOURAJAA.COM**





# annabac 2020

## SVT T<sup>le</sup> S SPÉCIFIQUE & SPÉCIALITÉ

- Les **sujets** de la session 2019 et d'autres pour couvrir tout le programme
- Pour chaque sujet, des **conseils** et des astuces
- Des **corrigés détaillés** pour comprendre comment raisonner et rédiger
- Un **mémo** avec les schémas à connaître



En plus avec ce livre, un accès **GRATUIT\*** aux **ressources** d' **annabac.com** en T<sup>le</sup> :  
fiches, cours audio et vidéo, quiz, annales corrigées...

\*selon conditions précisées sur le site [www.annabac.com](http://www.annabac.com)



## Révissez votre bac avec annabac 2020

### Pour les élèves de 1<sup>re</sup> NOUVEAU BAC

- 1 Français 1<sup>re</sup> Générale
- 2 Français 1<sup>re</sup> Technologique

### Pour les élèves de T<sup>le</sup>

- 3 Philosophie T<sup>le</sup> L, ES, S
- 4 Anglais T<sup>le</sup> LV1 ET LV2
- 5 Espagnol T<sup>le</sup> LV1 ET LV2
- 6 Histoire-Géographie T<sup>le</sup> ES, L
- 7 Histoire-Géographie T<sup>le</sup> S
- 8 SES T<sup>le</sup> ES
- 9 Mathématiques T<sup>le</sup> ES, L
- 10 Mathématiques T<sup>le</sup> S
- 11 Physique-Chimie T<sup>le</sup> S
- 12 SVT T<sup>le</sup> S

Également  
deux annabac  
multi-matières :



موقع مراجعة باكالوريا  
[BAC.MOURAJAA.COM](http://BAC.MOURAJAA.COM)

bac Math