

HORS-SÉRIE
Le Monde

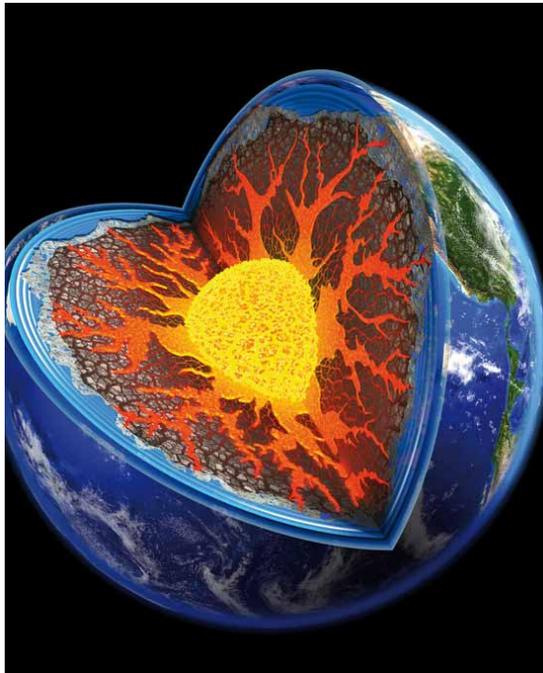
Réviser son bac

avec *Le Monde*

SVT

Sciences de la vie et de la Terre

Nouveaux programmes 2013



Term S

L'ESSENTIEL DU COURS

- Des fiches synthétiques
- Les points et définitions clés
- Les repères importants

DES SUJETS DE BAC

- Des questions types
- L'analyse des sujets
- Les raisonnements
- Les plans détaillés
- Les pièges à éviter

DES ARTICLES DU MONDE

- Des articles du *Monde* en texte intégral
- Un accompagnement pédagogique de chaque article

UN GUIDE PRATIQUE

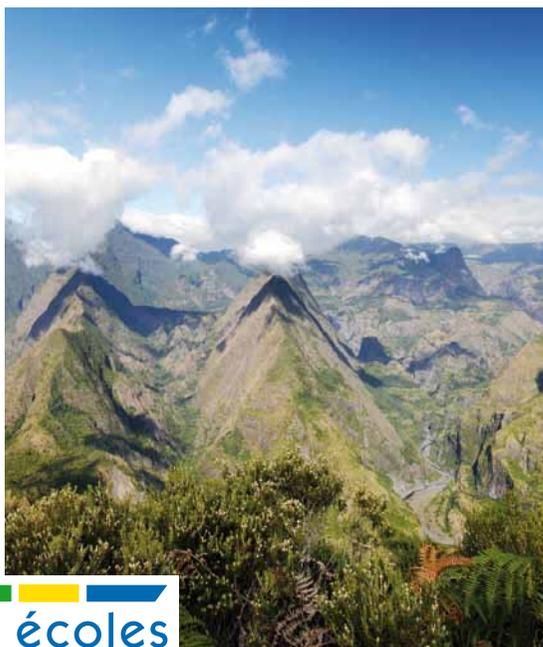
- La méthodologie des épreuves
- Astuces et conseils

En partenariat avec



Hors-série Le Monde, avril 2013

M 05407-2H - F. 7,90 € - RD



rue des écoles

Réviser son bac avec *Le Monde*

Sciences de la vie et de la Terre T^{erm} S (nouveaux programmes)

Une réalisation de  rue des écoles

Avec la collaboration de :

Manon Corbin
Marie-Noël Morin-Ganet
Sandrine Henry

En partenariat avec



AVANT-PROPOS

Cet ouvrage, consacré au programme spécifique de Sciences de la vie et de la Terre de terminale S et conçu par des professeurs enseignant ce niveau, constitue une préparation originale et efficace à l'épreuve écrite du baccalauréat en SVT.

Pour vous préparer au mieux au baccalauréat, vous trouverez à la fin de l'ouvrage, dans le *Guide pratique*, la présentation détaillée de l'épreuve de SVT, les exigences des correcteurs et des recommandations – y compris des conseils de méthode et d'organisation – pour réussir cette épreuve.

Dans la double page de *L'essentiel du cours*, les principales notions de chaque chapitre, accompagnées de schémas, sont expliquées et présentées de manière structurée et synthétique, dans le respect du contenu et de l'esprit du programme officiel de SVT de terminale S. Dans les colonnes, sont précisément définis les mots et les notions clés du cours et des *zoom sur* certains points du programme vous permettent d'approfondir vos connaissances.

Dans *Un sujet pas à pas*, un sujet complet vous est proposé, accompagné de son corrigé et des conseils de l'enseignant sur les principaux pièges à éviter. Pour chaque chapitre, c'est l'un des trois exercices de la nouvelle épreuve écrite de SVT qui est traité. L'ensemble des sujets couvre les différents exercices de l'épreuve écrite de SVT au baccalauréat : partie 1 (restituer ses connaissances lors d'une question de synthèse ou d'un QCM), partie 2 exercice 1 (raisonner dans le cadre d'un problème scientifique) et partie 2 exercice 2 (pratiquer une démarche scientifique). Cette rubrique se révèle donc être un outil efficace pour s'entraîner tout au long de l'année à l'épreuve du baccalauréat.

Pour chaque chapitre, des articles issus du quotidien *Le Monde*, ont été sélectionnés pour leur intérêt et leur pertinence au regard d'une ou de plusieurs notions abordées dans le cours. Il s'agit d'articles récents, qui montrent combien les problématiques des Sciences de la vie et de la Terre s'inscrivent dans l'actualité, suscitent des polémiques ou des controverses, que ce soit dans le domaine de la santé ou dans celui de l'environnement. Ces articles montrent également la rapidité de l'évolution des connaissances en biologie et en géologie notamment. Les articles choisis vous permettent d'approfondir les notions du cours, d'étayer vos propos lors des épreuves, grâce à des exemples issus du *Monde*, d'alimenter votre réflexion critique et, finalement, d'appréhender les sciences comme un savoir toujours en construction.

Cet ouvrage est une aide précieuse pour réussir l'épreuve de SVT, et au-delà, pour découvrir la richesse des Sciences de la vie et de la Terre.

M.-N. M.-G.



Complétez vos révisions du bac sur www.assistancescolaire.com :
méthodologie, fiches, exercices, sujets d'annales corrigés... des outils gratuits et efficaces
pour préparer l'examen.

Édité par la Société Editrice du Monde – 80, boulevard Auguste Blanqui – 75013 Paris

Tél : +(33) 01 57 28 20 00 – Fax : +(33) 01 57 28 21 21

Internet : www.lemonde.fr

Président du Directoire, Directeur de la Publication : Louis Dreyfus

Directeur de la rédaction : Alain Frachon

Imprimé par Maury

Commission paritaire des journaux et publications : n° 0712C81975

Dépôt légal : mars 2013

Achévé d'imprimer : mars 2013

Numéro hors-série réalisé par Le Monde – © Le Monde – rue des écoles 2013.

GÉNÉTIQUE ET ÉVOLUTION p. 5

chapitre 01 – Le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique	p. 6
chapitre 02 – Diversification génétique et diversification des êtres vivants	p. 12
chapitre 03 – De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité	p. 18
chapitre 04 – Un regard sur l'évolution de l'homme	p. 24
chapitre 05 – Les relations entre organisation et mode de vie, résultat de l'évolution : l'exemple de la vie fixée chez les plantes	p. 30

LE DOMAINE CONTINENTAL ET SA DYNAMIQUE p. 37

chapitre 06 – La caractérisation du domaine continental : lithosphère continentale, reliefs et épaisseur crustale	p. 38
chapitre 07 – Contexte de la formation des chaînes de montagnes et disparition des reliefs	p. 44
chapitre 08 – Le magmatisme en zone de subduction : une production de nouveaux matériaux continentaux	p. 50

ENJEUX PLANÉTAIRES CONTEMPORAINS p. 55

chapitre 09 – Géothermie et propriétés thermiques de la Terre	p. 56
chapitre 10 – La plante domestiquée	p. 60

LE MAINTIEN DE L'INTÉGRITÉ DE L'ORGANISME : QUELQUES ASPECTS DE LA RÉACTION IMMUNITAIRE p. 65

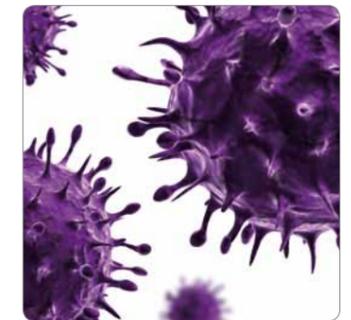
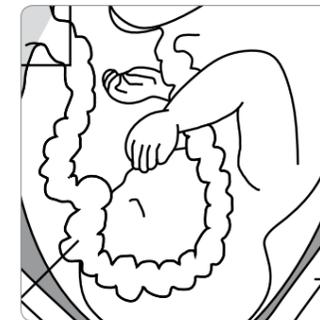
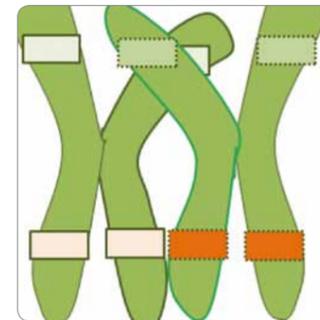
chapitre 11 – La réaction inflammatoire, un exemple de réponse innée	p. 66
chapitre 12 – L'immunité adaptative, prolongement de l'immunité innée	p. 72
chapitre 13 – Le phénotype immunitaire au cours de la vie	p. 78

NEURONE ET FIBRE MUSCULAIRE : LA COMMUNICATION NERVEUSE p. 83

chapitre 14 – Le réflexe myotatique, un exemple de commande réflexe du muscle	p. 84
chapitre 15 – Motricité volontaire et plasticité cérébrale	p. 88

LE GUIDE PRATIQUE p. 93

GÉNÉTIQUE ET ÉVOLUTION



MOTS CLÉS

ALLÈLES

Versions différentes d'un même gène, caractérisées par de légères différences au niveau de leur séquence nucléotidique.

CHROMOSOMES HOMOLOGUES

Chromosomes appartenant à une même paire dans le caryotype d'une espèce diploïde. Ils portent les mêmes gènes, au même locus, mais pas forcément les mêmes allèles.

DIPLOÏDE (2N)

Qui possède deux lots de chromosomes homologues, c'est-à-dire des paires de chromosomes.

GAMÈTE

Cellule reproductrice haploïde (ovule chez la femelle, spermatozoïde chez le mâle).

HAPLOÏDE (N)

Qui ne possède qu'un seul lot de chromosomes (une seule version de chaque gène).

ZOOM SUR...

LE BRASSAGE INTERCHROMOSOMIQUE

Il correspond à la migration indépendante des différentes paires de chromosomes au cours de la première division de méiose. On peut le mettre en évidence en analysant les résultats de croisements étudiant des gènes portés par des paires de chromosomes différents (gènes indépendants).

LE BRASSAGE INTRACHROMOSOMIQUE

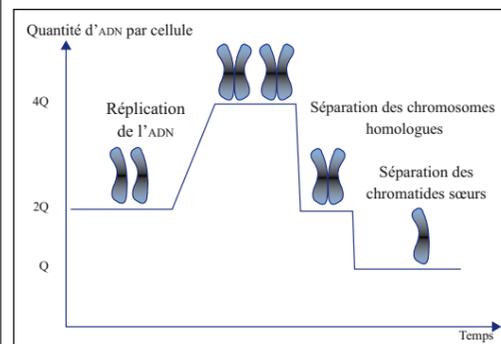
Il augmente la diversité des gamètes en formant des chromatides recombinés par *crossing-over* en prophase de première division de méiose. Les gamètes de type recombiné possèdent une nouvelle combinaison d'allèles qu'aucun des parents ne présentait. On peut mettre en évidence ce brassage en analysant les résultats de croisements étudiant des gènes portés par une même paire de chromosomes (gènes liés).

Le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique

Tous les individus appartenant à une même espèce possèdent le même nombre de chromosomes et les mêmes gènes, à la même position le long de l'ADN. Au cours de l'évolution, des mutations peuvent conduire à l'apparition de différentes versions des gènes : les allèles. Différents brassages au cours de la reproduction sexuée expliquent que chaque individu (hormis les jumeaux vrais) soit génétiquement unique, c'est-à-dire une combinaison unique d'allèles.

Une multitude de gamètes différents

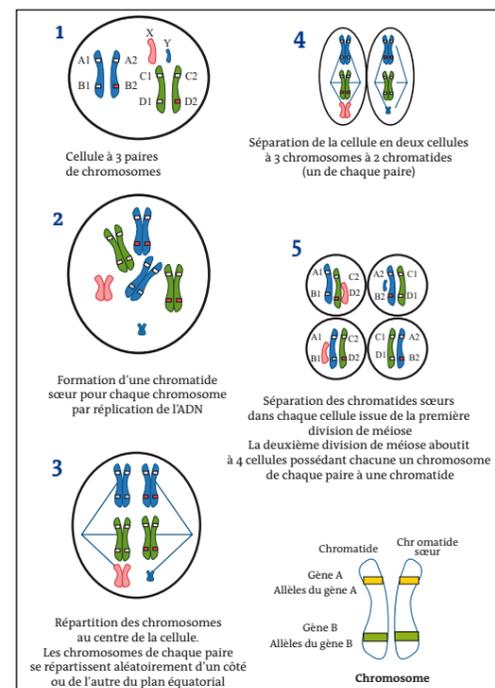
Chez les organismes diploïdes, la reproduction sexuée implique la formation de cellules reproductrices, ou **gamètes haploïdes**, contenant chacune la moitié de l'information génétique de l'individu qui les produit. À l'exception des gamètes, chacune des cellules d'un organisme diploïde possède des paires de chromosomes homologues : l'un d'origine paternelle et l'autre d'origine maternelle. La première étape de la formation des gamètes est une division cellulaire appelée **méiose**, qui permet d'obtenir quatre cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde. Elle est précédée d'une copie à l'identique du matériel génétique (**réplication de l'ADN**). Chaque



Variation de la quantité de matériel chromosomique lors de la méiose

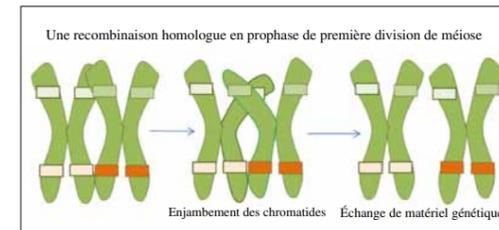
chromosome passe alors d'une chromatide à deux chromatides sœurs. La méiose est une double division cellulaire. La **première division de méiose** se déroule en plusieurs étapes. Au cours de la **prophase I**, les chromosomes se condensent, puis les chromosomes

homologues se placent côte à côte : ils s'apparient. En **métaphase I** (3), les chromosomes se disposent sur le plan équatorial, au centre de la cellule. En **anaphase I**, les deux chromosomes de chaque paire se séparent et migrent chacun aléatoirement vers l'un des pôles de la cellule. Les chromosomes d'origine paternelle ou maternelle se répartissent au hasard, les paires étant indépendantes les unes des autres. C'est le brassage interchromosomique. En fin de **télophase I**, deux cellules haploïdes, ne



portant plus qu'un seul chromosome de chaque paire, sont formées (4).

La **seconde division** de méiose ressemble à une mitose : les deux chromatides sœurs de chaque chromosome sont séparés. Une cellule en méiose donnera donc quatre cellules différentes, contenant une copie de chaque gène, soit l'allèle d'origine paternelle, soit l'allèle d'origine maternelle.



Le brassage intrachromosomique

Les chromosomes homologues sont si étroitement accolés lors de la prophase I que des échanges de matériel génétique peuvent se produire entre chromatides : c'est le brassage intrachromosomique. Au hasard, les chromatides chevauchants se coupent, puis le bras coupé se ressoude avec l'autre chromatide. C'est le **crossing-over**.

Ainsi, à partir d'une cellule mère de gamètes mâles, on obtient quatre spermatozoïdes génétiquement différents. Pour les gamètes femelles, les divisions sont inégales car seule une cellule garde tout le cytoplasme ; les autres dégèrent. Si dans les gamètes mâles la méiose est achevée, pour les gamètes femelles, la méiose est arrêtée en cours de processus et s'achèvera après la fécondation (avant la fécondation on parle donc d'**ovocyte** et non d'**ovule**).

Le hasard de la fécondation

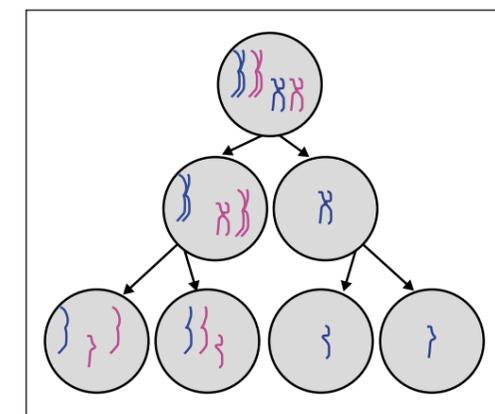
Les brassages au cours de la méiose permettent d'obtenir une grande diversité de gamètes contenant chacun **une combinaison unique et nouvelle d'allèles**. Chez chaque parent, un seul de ces gamètes sera impliqué dans la fécondation. Dans une fratrie humaine, la probabilité que deux individus non jumeaux vrais soient génétiquement identiques est quasiment nulle.

Dans l'espèce humaine, la migration indépendante des chromosomes (**brassage interchromosomique**) permet théoriquement la formation de 2^{23} types de gamètes différents et la rencontre au hasard avec un gamète de l'autre sexe conduit à chaque fécondation à $(2^{23})^2$, soit 70 000 milliards de combinaisons possibles pour **une cellule-œuf ou zygote**. Ce chiffre est très sous-évalué car il ne tient pas compte du brassage intrachromosomique dû aux *crossing-over*. Une quasi-infinité de combinaisons génétiques différentes sont en réalité possibles. Toutefois, seule une fraction de ces zygotes est viable et peut poursuivre son développement. Une **anomalie chromosomique** peut par exemple em-

pêcher le déroulement des divisions de l'embryon et conduire à un avortement spontané.

Les anomalies au cours de la méiose : sources de troubles mais aussi de diversification

Lors de la méiose, deux chromosomes (**méiose I**) ou deux chromatides (**méiose II**) peuvent migrer vers le même pôle de la cellule. Dans ce cas, certains gamètes porteront **un chromosome de moins**, et d'autres **un chromosome surnuméraire**. Ces gamètes peuvent être féconds, mais le zygote ne possédera pas le nombre de chromosomes spécifique de son espèce : s'il est viable, l'individu sera porteur d'une anomalie chromosomique, comme **une monosomie** (45 chromosomes au lieu de 46) ou **une trisomie** (47 chromosomes).



Anomalie de répartition des chromosomes homologues en première division de méiose : la moitié des cellules filles aura un chromosome surnuméraire, l'autre moitié aura un chromosome en moins

Lors des *crossing-over*, des morceaux de chromatides peuvent être échangés de façon inégale : les gamètes qui résultent de ces divisions peuvent soit ne plus porter certains gènes (on parle de **délétion de gènes**), soit en avoir deux copies (on parle alors de **duplication de gènes**). Si la fécondation implique un gamète portant l'une de ces anomalies, l'embryon peut ne pas survivre ou présenter des malformations dues à cette anomalie génétique. Dans certains cas, la duplication de gènes a permis de créer des familles multigéniques, comme les gènes du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) ou les gènes codant pour les globines. ■

UN ARTICLE DU MONDE À CONSULTER

- **L'aventure de l'embryon – Les chemins du commencement** p. 10-11 (Catherine Vincent, 5 janvier 1999)

ZOOM SUR...

LES ANOMALIES CHROMOSOMIQUES

Des perturbations du déroulement de la méiose peuvent conduire à des anomalies chromosomiques dont quelques-unes peuvent être viables : trisomie 21, trisomie 18 (mortalité avant l'âge de 1 an) ou trisomie 13 (décès in utero ou avant 3 mois). Elles peuvent aussi toucher les chromosomes sexuels : trisomie XXY (syndrome de Klinefelter, homme stérile), trisomie XYY, trisomie XXX ou monosomie X (syndrome de Turner, femme stérile).

LES FAMILLES MULTIGÉNIQUES

- Certains ensembles de gènes se caractérisent par de grandes similitudes au niveau de leurs séquences. Ces gènes sont situés à des locus différents sur un même chromosome ou sur des chromosomes différents. Une ressemblance de plus de 20 % n'est pas le fait du hasard, mais d'une parenté. Ces gènes résulteraient de duplications à partir d'un gène ancestral. Ce mécanisme, associé à des mutations qui se produisent de manière indépendante sur les différents duplicatas, permettrait d'expliquer l'existence des familles multigéniques. La duplication d'un gène constitue une source de diversification car la protéine peut acquérir de nouvelles fonctions par mutations du gène dupliqué, sans que le gène et la protéine d'origine ne soient affectés.
- L'exemple de la famille des globines chez l'homme. L'hémoglobine est une protéine constituée de l'association de quatre chaînes polypeptidiques. Au cours de sa vie, l'organisme humain fabrique plusieurs types d'hémoglobines, constituées de chaînes de globines différentes : chaînes zéta, epsilon, alpha, bêta, gamma ou delta. Les six gènes codant pour ces globines sont situés sur des locus différents sur les chromosomes 16 et 11. La comparaison des séquences d'acides aminés des différentes globines permet de constater leur grande ressemblance.

NOTIONS CLÉS

CONVENTIONS
D'ÉCRITURE
EN GÉNÉTIQUE

En génétique, les différents allèles d'un gène sont désignés par une ou deux lettres.

L'allèle dominant est écrit en majuscules ou porte le signe (+) en exposant, l'allèle récessif est écrit en minuscules ou ne porte pas de signe. Ex. : chez la drosophile, les ailes peuvent être vestigiales (allèle vg) ou normales (allèle vg^+). Le phénotype s'écrit entre crochets. Ex. : $[vg^+]$ signifie que la drosophile porte des ailes normales. Le génotype s'écrit entre parenthèses. Les deux allèles que possède l'individu diploïde sont séparés par deux traits dont chacun représente l'un des chromosomes homologues. Ex. : le génotype d'une drosophile hétérozygote s'écrit (vg^+/vg) .

CROISEMENT TEST,
TEST CROSS

Croisement d'un individu présentant le phénotype dominant avec un homozygote récessif, c'est-à-dire porteur des allèles récessifs des gènes considérés. Le croisement test permet, par l'étude du phénotype des descendants, de mettre en lumière le génotype des gamètes du parent présentant le phénotype dominant.

DOMINANCE/
RÉCESSIVITÉ/
CODOMINANCE

Lorsque les deux chromosomes homologues portent des allèles différents pour un même gène, celui qui s'exprime au niveau du phénotype est appelé « allèle dominant ». L'autre est récessif. Si les deux allèles s'expriment, comme dans l'exemple du groupe sanguin AB, ils sont dits « codominants ».

HOMOZYGOTE/
HÉTÉROZYGOTE

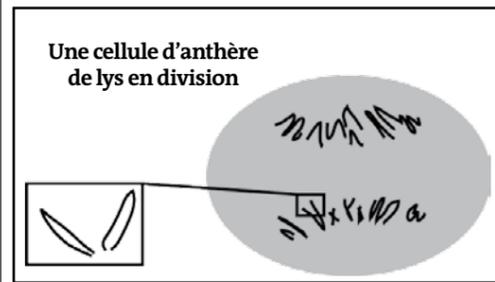
Un individu peut posséder deux allèles identiques pour un gène : il est alors homozygote pour ce gène. S'il possède deux allèles différents, il est hétérozygote.

Partie 1 : La méiose

Le QCM

Cochez la proposition exacte pour chaque question de 1 à 6.

1. Cette photographie représente une cellule à :



- a) $2n = 24$, en anaphase d'une mitose.
b) $2n = 24$, en anaphase I d'une méiose.
c) $2n = 12$, en métaphase d'une mitose.
d) $2n = 12$, en anaphase II d'une méiose.

2. La mitose :

- a) est source de diversité génétique.
b) donne naissance à 4 cellules à partir d'une cellule.
c) conserve toutes les caractéristiques du caryotype.
d) permet la production des gamètes.

3. La méiose produit :

- a) 4 cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde.
b) 2 cellules diploïdes à partir d'une cellule diploïde.
c) 4 cellules diploïdes à partir d'une cellule diploïde.
d) 2 cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde.

4. 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

5. Lors d'une méiose se déroulant sans anomalie, il peut s'effectuer :

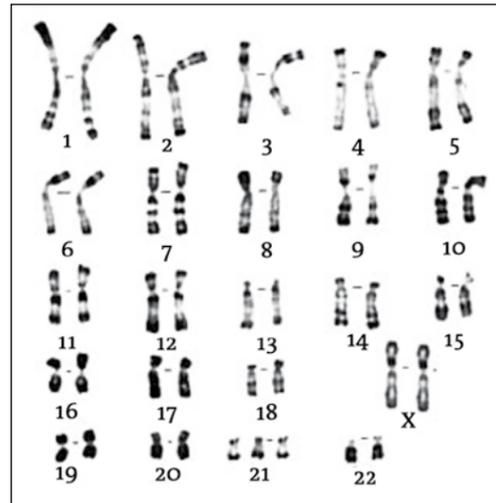
- a) un brassage intrachromosomique entre chromosomes non homologues.
b) un brassage interchromosomique entre chromosomes homologues.
c) un brassage interchromosomique puis un brassage intrachromosomique.
d) un brassage intrachromosomique puis un brassage interchromosomique.

Le document suivant représente le caryotype d'un enfant atteint d'une anomalie chromosomique.

6. Le caryotype ci-dessous peut avoir pour origine :

- a) une duplication du chromosome 21 lors de la méiose.
b) une non-disjonction de la paire chromosomique n° 21 lors de la division I de la méiose.

- c) une non-disjonction de la paire chromosomique n° 21 lors de la division II de la méiose.
d) un accident génétique uniquement lors de la formation des gamètes femelles.



Le sujet de question de synthèse

La diversité du vivant a pour origine de nombreux mécanismes dont certains sont d'origine génétique. En prenant comme exemple la transmission de deux gènes liés, montrez comment lors de la méiose il peut s'effectuer un brassage de l'information génétique. Votre exposé sera accompagné de schémas.

Le corrigé

QCM : 1. b), 2. c), 3. a), 4. d), 5. d) 6. b)

L'analyse du sujet de question de synthèse

La précision « deux gènes liés » permet de limiter le sujet au brassage intrachromosomique. Il s'agit alors de trouver un génotype parental pertinent (hétérozygote) pour deux couples d'allèles portés par la même paire de chromosomes, puis de représenter les phases de la méiose appropriées, en insistant sur différents moments de la prophase I (*crossing-over*).

Proposition de corrigé

Introduction : La méiose est définie comme la division cellulaire permettant la production de gamètes haploïdes ne portant qu'un allèle pour chaque gène sur les deux que possède le parent.

Problématique générale : Comment expliquer que des parents ne puissent engendrer que des descendants génétiquement différents ?

Problématique limitée au sujet : Dans le cas de gènes liés, comment expliquer que des descendants

puissent porter des associations d'allèles différentes de leurs parents ?

Point de départ : Une cellule souche de gamète d'un parent hétérozygote pour deux gènes portés par la même paire de chromosomes.

I. Deux gènes liés sont censés migrer ensemble lors de l'anaphase I de la méiose

Résultat : on peut former deux types de gamètes seulement concernant les deux gènes étudiés.

II. Les résultats expérimentaux révèlent des recombinaisons

Les analyses de croisements effectués en laboratoire, chez la drosophile par exemple, montrent que les parents hétérozygotes produisent en réalité quatre types de gamètes, mais dans des proportions qui ne sont pas équivalentes : une majorité de gamètes « parentaux » et une minorité de gamètes « recombinés » qui portent des associations d'allèles qui n'existaient pas chez le parent.

III. Les échanges entre chromosomes homologues

Les recombinaisons ont lieu en prophase I de méiose, au moment de l'appariement des chromosomes homologues. Des *crossing-over* se forment et les chromosomes échangent des portions de chromatides : c'est le brassage intrachromosomique. Cependant, pour un couple de gènes donné, les recombinaisons homologues n'ont lieu que dans un certain pourcentage des méioses au moment de la formation des gamètes.

Conclusion : L'étude de croisements concernant un couple de gènes liés permet de mettre en évidence le brassage intrachromosomique, qui augmente la diversité possible des gamètes. Si l'on considère l'ensemble des chromosomes et des gènes d'un individu, la combinaison du brassage intrachromosomique et du brassage interchromosomique (migration indépendante des différentes paires de chromosomes en méiose I) permet de produire une infinité de gamètes différents. La fécondation réunira au hasard deux gamètes parmi de nombreuses possibilités. ●

AUTRES SUJETS POSSIBLES AU BAC SUR CE THÈME

Partie 1 : Synthèse sans documents

– Discutez des conséquences possibles des anomalies survenues lors de la méiose et de la fécondation. (schémas attendus)

Partie 2.1 : Rédigé (tableau à compléter)

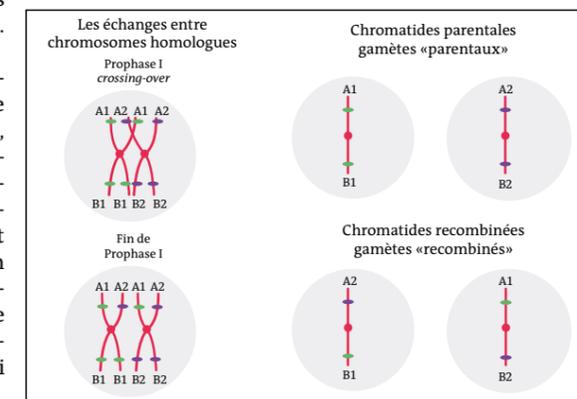
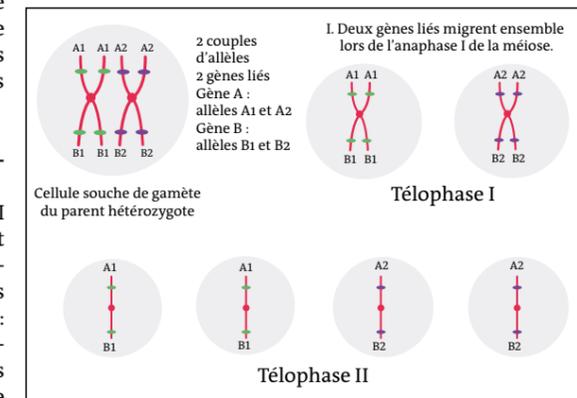
– Ordonnez et annotez des clichés d'observation de différentes phases de la méiose.

Partie 2.1 : QCM avec document

– Étude d'un graphique représentant l'évolution de la quantité d'ADN au cours de la méiose et de la fécondation.

Ce qu'il ne faut pas faire

- Cocher plusieurs réponses par question dans le QCM : une seule est exacte.
- Confondre brassage interchromosomique (métaphase et anaphase I) et brassage intrachromosomique (prophase I).
- Négliger les schémas ou représenter des chromosomes trop petits.
- Se tromper en plaçant les allèles sur les chromosomes de la cellule parentale de départ.
- Traiter à la fois le brassage interchromosomique et le brassage intrachromosomique, alors que le sujet ne porte que sur ce dernier (gènes liés).
- Traiter la fécondation alors que le sujet ne porte que sur la méiose.



ZOOM SUR...

La drosophile, organisme modèle en génétique

La mouche drosophile est devenue un organisme modèle en génétique depuis le début du XX^e siècle. Elle présente notamment l'avantage de n'avoir qu'un petit nombre de chromosomes. Les résultats obtenus ont pu être extrapolés aux autres organismes. Ce sont notamment les travaux sur la drosophile qui ont permis de faire le lien entre les chromosomes et les caractères héréditaires.

DATES CLÉS

L'histoire de la génétique

- 1866 : Mendel, prêtre et botaniste, élabore les premières lois de la transmission des caractères héréditaires.
- 1879 : Fleming observe le comportement des chromosomes au cours de la mitose.
- 1888 : Strasburger observe le comportement des chromosomes au cours de la méiose.
- 1901 : De Vries introduit la notion de mutation.
- 1902 : Sutton et Boveri proposent que les chromosomes soient les porteurs de l'information génétique.
- 1906 : Johanssen introduit le terme « gène » pour désigner un facteur héréditaire.
- 1915 : Morgan apporte les preuves expérimentales de la théorie chromosomique de l'hérédité grâce à ses études sur les drosophiles.
- 1941 : Beadle et Tatum établissent qu'un gène est responsable de la synthèse d'une enzyme (protéine).
- 1944 : Avery, McLeod et McCarty découvrent que l'ADN est le support de l'information génétique chez la bactérie.
- 1953 : Watson et Crick élaborent le modèle de la structure en double hélice de l'ADN grâce aux travaux de Franklin.
- 1959 : Lejeune met en évidence l'anomalie chromosomique de la trisomie 21 (syndrome de Down).
- 1988 : lancement du projet Génome humain.
- 2003 : achèvement du séquençage complet du génome humain.

L'aventure de l'embryon – Les chemins du commencement

À partir d'une seule cellule fécondée, un être humain se fabrique en neuf mois, grâce à un processus d'une complexité inouïe. Dans une enquête en cinq volets, *Le Monde* raconte l'histoire extraordinaire de la vie avant la naissance.

« Croissez et multipliez », dit le message biblique. Et s'il s'agissait en vérité d'un message biologique ? « Depuis que la vie est apparue, observe Jean-Paul Lévy, elle refait de la vie. Les humains font d'autres humains, comme tout ce qui vit depuis plus de trois milliards d'années s'est occupé à refaire du semblable. » Médecin, directeur de l'Institut Cochin de génétique moléculaire, il ne connaît – s'il en faut un – qu'un seul miracle : l'émergence, au sein de la « soupe » chimique originelle, de la première cellule. Parole d'homme de science, parole de raison. Et pourtant ! Comment ne pas s'émerveiller, et s'émerveiller encore, devant le génie du vivant ? Un processus d'une complexité inouïe, qui, à partir d'une seule cellule fécondée, fabrique en neuf mois un être humain fait de chair et de sang, de cœur et de sagesse, de sensations et de pensée ? Un être humain pareil aux autres, et toujours unique ? Car c'est bien là, si l'on ose répondre au savant, le second « miracle » de la reproduction. Refaire du semblable, certes, mais en imposant l'apparition du différent, seul garant de l'adaptation au milieu. « L'espèce doit se maintenir, mais elle doit aussi être prête à évoluer quand l'environnement change. Si les premiers préhominiens, quelques millions d'années avant nous, ne s'étaient pas adaptés à la savane parce que leur squelette n'était plus le même que celui de leurs cousins forestiers, il n'y aurait pas d'hommes aujourd'hui », avance Jean-Paul Lévy. Se conserver et se transformer en même temps : ni la scissiparité (reproduction par simple division de l'organisme), ni la parthénogenèse (reproduction

ne savent le faire. Ils ne donnent – à quelques mutations près – que des copies de l'original. C'est pourquoi la nature a inventé la sexualité. Et, avec elle, la diversité. Du premier œuf, issu comme nous tous de la fusion d'une entité mâle et d'une entité femelle, que sait-on ? Qu'il se forma voilà deux à trois milliards d'années, et qu'il bouleversa l'ordre de la vie. « On peut s'amuser à imaginer l'insignifiance apparente de cette première rencontre : l'accolement de deux cellules ou de deux molécules quelconques parmi des milliards d'autres. Un événement microscopique, quasi invisible, et sans doute la plus grande révolution que la Terre ait jamais connue », commente André Langaney, biologiste des populations au Muséum national d'histoire naturelle. À l'équation « un donne deux » de la multiplication se substitue celle de la procréation. Non pas « deux donnent un », mais plutôt « un plus un donnent un autre ». S'il faut se mettre à deux pour faire un troisième, c'est, justement, pour que ce dernier ne soit identique à aucun des premiers. Là est la justification de « la poursuite éternelle de l'autre, cette série de cycles où l'espèce se divise chaque fois en éléments opposés, chaque fois destinés à s'unir à nouveau », ajoute François Jacob, prix Nobel de médecine et professeur au Collège de France. L'innovation est d'autant plus éblouissante qu'elle met en jeu des mécanismes d'une prodigieuse ingéniosité. Parce que tout se joue en quelques instants, parce qu'à l'unité de temps s'ajoute celle du lieu, parce que s'y mêle, enfin, l'amour charnel de deux êtres, nous datons l'origine de notre identité au moment

de la fécondation. C'est oublier la division appelée « méiose ». Certes, la fusion qui se produit alors entre spermatozoïde et ovule, entre le don du père et celui de la mère, léguera à l'enfant une subtile mosaïque de leurs gènes respectifs. Mais la source de la différence se situe bien en amont de cet événement. Elle prend naissance une génération plus tôt, dans les embryons mêmes des futurs parents. Les cellules sexuelles mâles et femelles – les gamètes – témoignent en effet de leur existence dès les premières semaines de la vie in utero. Nichées dans les gonades, elles y attendent leur heure pour subir une division à nulle autre pareille – la méiose –, sans laquelle la diversité des espèces ne serait rien. Comme toutes les cellules du corps, ces cellules germinales naissent diploïdes : elles contiennent 23 paires distinctes de chromosomes, chacune provenant pour moitié du père et pour moitié de la mère. La méiose a pour rôle de réduire de moitié le nombre de chromosomes des cellules sexuelles, de les rendre haploïdes. Ainsi pourront-elles, lorsqu'elles fusionneront dans la fécondation, apporter chacune leur lot génétique, sans que l'œuf excède pour autant les 23 paires chromosomiques nécessaires – c'est ainsi – à son développement. Ignorant le processus de reproduction habituel (la mitose, au cours de laquelle la cellule mère double son patrimoine génétique, puis se scinde en deux, restituant un jeu complet de chromosomes à chacune de ses deux cellules filles), la méiose impose ainsi au spermatozoïde et à l'ovule deux divisions successives. Mais elle fait plus encore. Chorégraphe d'un délicat ballet biologique, elle

impose aux gènes des figures inédites. Empêchant par là même que chaque cellule sexuelle n'emporte avec elle, en bloc, une moitié des gènes d'un parent que lui-même aurait reçu en bloc de l'un des siens. « S'il en était ainsi, chaque individu hériterait d'une moitié d'information venant d'un des grands-parents maternels et l'autre d'un des grands-parents paternels, et plus rien des deux autres », remarque Jean-Paul Lévy. Heureusement, les chromosomes ne sont pas indestructibles. Ils peuvent se casser, se recoller, bref : se réinventer. C'est ce qui se produit lors de la méiose. Les deux chromosomes d'une même paire commencent par s'accoler gène à gène, sur toute leur longueur, puis, s'écartant à partir du centre, amorcent la séparation. Mais certaines zones de contact résistent ; les gènes jumeaux s'entremêlent, s'hybrident, s'approprient un peu l'un de l'autre avant de s'éloigner définitivement. C'est là, durant cette valse-hésitation, qu'a lieu leur « recombinaison », grâce à laquelle les cellules sexuelles ne transmettent pas seulement les gènes reçus du père ou de la mère, mais un patchwork des deux. Ainsi, l'œuf fécondé héritera d'un patrimoine dont les richesses proviennent au hasard de ses quatre grands-parents et, à travers eux, des innombrables générations antérieures. Ainsi, la sexualité, en créant de nouvelles associations de gènes, autorisera toutes les audaces de l'évolution. Car à peine inventé, ce jeu des possibles entraîna une diversification des espèces sans précédent. Comme dans la cosmologie sumérienne (où l'eau, manifestation primitive de la vie du monde, se présente sous un double aspect :

Apsu, eau douce ou principe mâle, et Tiamat, eau salée ou principe femelle), tous les vers, crustacés, poissons et plantes qui s'épanouissent dans la matrice aquatique originelle s'orientent vers leur contraire pour que s'unissent leurs cellules sexuelles et que se crée l'œuf qui les perpétuera. Comment ces minuscules gamètes, émis dans l'océan par des centaines d'espèces distinctes, retrouvent-ils leur moitié ? « Les progrès récents de l'immunologie ont montré l'extrême complication des mécanismes de "reconnaissance du soi" au niveau de l'organisme. Il est probable que les mécanismes de reconnaissance du gamète conjoint en soient une variante, ou peut-être une version primitive », avance André Langaney. Avec la sexualité naît, aussi, la reconnaissance de l'autre. Plus grande sera la difficulté, lorsque les plus hardis de ces nouveaux habitants du monde s'essaieront à sortir des eaux. Car les cellules sexuelles ne peuvent survivre qu'en milieu liquide, ce qui explique que les grenouilles et les salamandres, contournant le problème, aient conservé leurs amours aquatiques. Pour créer véritablement le statut d'animal terrestre, la nature, une fois encore, doit innover. Et instaurer une méthode simple et universelle pour que la rencontre puisse s'effectuer hors de l'eau. Ce sera la fécondation interne, à l'intérieur du corps de la femelle. Par des moyens variant à l'infini suivant les espèces, le sperme du mâle est ainsi acheminé, depuis les testicules où il se forme, jusqu'aux organes où il assure la fécondation. Parfois dans la séduction anonyme (le mille-pattes s'éclipse après avoir déposé son sperme dans une petite toile, dont l'odeur attire irrésistiblement sa belle), parfois avec autorité, voire athlétisme (chez les collembolles, le petit mâle va jusqu'à soulever son énorme femelle pour l'emmener au lieu où il a déposé ses spermatozoïdes). Pour transmettre une gouttelette contenant quelques millions de spermatozoïdes, les variations amoureuses et anatomiques les plus sophistiquées ont ainsi été essayées. Jusqu'à ce que,

enfin, soit inventée la plus efficace d'entre elles : un petit bijou de la technique baptisé pénis, qui a fait ses preuves depuis des dizaines de millions d'années chez les reptiles et les mammifères. Son principe : un tissu spongieux capable de se gorger de sang, de gonfler et d'acquiescer la rigidité nécessaire à sa pénétration dans le vagin. À l'autre extrémité de celui-ci s'ouvre une deuxième cavité, l'utérus. Il se prolonge de chaque côté par deux longs conduits, les trompes de Fallope, dont la partie terminale (l'ampoule) s'accôle à l'ovaire pour y recueillir l'ovule qu'il émet périodiquement. C'est donc là, au cœur du ventre maternel, qu'aura lieu la rencontre. Elle s'accomplira au terme d'une course harassante, disputée par une myriade de spermatozoïdes dont un seul sortira gagnant. Celui-ci, du même coup, déterminera le sexe de l'enfant à naître, selon que son chromosome sexuel sera X ou Y. Garçon ou fille, le choix est en effet dicté par l'appariement XY ou XX. La mère ne pouvant produire que des ovules X, c'est donc au père, par ses cellules fécondantes X ou Y, que revient le fin mot de l'affaire. C'est pourquoi les diverses méthodes expérimentées pour déterminer – et orienter – le sexe des enfants avant leur conception se fondent sur la séparation des spermatozoïdes en groupes X et Y (la technique la plus fiable à ce jour, rendue publique il y a quelques mois par une firme américaine, consiste à rendre ces chromosomes fluorescents, puis à les séparer en fonction de leur luminosité), avant de féconder l'ovule par insémination artificielle. X ou Y : par les voies naturelles, seul le hasard décidera. Mais avant, quel marathon ! Et que d'abandons ! Partis entre 50 et 100 millions, ils ne seront plus que quelques centaines à avoir franchi l'utérus et à avoir remonté jusqu'à l'ampoule qui coiffe la trompe. Le trajet qu'ils ont à parcourir leur prendra près de deux heures : 20 centimètres, à la vitesse de 50 millionnièmes de mètre par seconde. Avec pour tout bagage un flagelle long et mobile, une

belle réserve de carburant et une petite vésicule bourrée d'enzymes, l'acrosome, fichée au-dessus de la tête. Au bout de la compétition : la timbale. Un gigantesque ovule (0,14 mm de diamètre), l'une des plus grosses cellules de l'organisme. Lequel finira par l'emporter ? Sur quels mérites, sur quel exploit sera désigné le vainqueur ? Nul ne le sait, et nous sommes tous le produit de cette loterie. Une certitude, toutefois : malgré l'intense sélection subie par les spermatozoïdes, l'efficacité de ce mode de reproduction est considérable (le record officiel pour l'espèce humaine, détenu par une femme russe du XVIII^e siècle, est de soixante-neuf enfants). Et une piste de recherche : dans cette rencontre au sommet des voies utérines, le « nez » des cellules semble jouer un rôle non négligeable. De même que les femelles de multiples espèces sécrètent des phéromones pour séduire leurs mâles, l'ovule attire les spermatozoïdes en émettant des substances chimiques, dont la structure n'est pas sans rappeler celle des molécules odorantes... Voici donc l'élu aux portes de son royaume. Il commence par en perdre sa coiffe, l'acrosome, qui se dissout et libère ses enzymes. Ces derniers ont pour mission d'attendrir la zone pellucide, enveloppe protectrice qui entoure l'ovule. Lequel, dès l'ultime étape franchie, exprime sa satisfaction en émettant des milliers de petits granules, qui empêcheront désormais tout

autre prétendant de le pénétrer. Vient alors le grand moment, la fusion des deux noyaux mâle et femelle. La naissance de l'œuf, la restitution de la diploïdie. Le moment zéro du développement embryonnaire. Dans les vingt-quatre heures qui suivent sa conception, le futur enfant à naître se divise en deux cellules. Puis en quatre, puis en huit. Au stade de trente-deux cellules, le voilà comme une petite mère, d'où son joli nom, « morula ». Très vite, les cellules se divisent en deux groupes, l'un périphérique, l'autre central. La masse cellulaire externe, appelée « trophoblaste », sera à l'origine du placenta ; la masse interne deviendra l'embryon. L'ensemble commence à se creuser d'une cavité centrale emplie de liquide. Empruntant le chemin inverse des spermatozoïdes, l'œuf redescend la trompe de Fallope pour gagner la cavité utérine. Au sixième jour du développement, c'est une sphère creuse constituée d'une centaine de cellules, le blastocyste, qui fait son entrée dans la cavité utérine. Un monde dont la paroi, richement vascularisée et placée sous la protection de la progestérone, sécrète généreusement facteurs de croissance et éléments nutritifs. L'embryon ne tarde pas à s'y implanter et s'enfonce profondément dans l'opulent tissu. L'aventure in utero commence. ●

Catherine Vincent
(5 janvier 1999)

POURQUOI CET ARTICLE ?

Cet article propose une bonne synthèse et une mise en perspective des brassages génétiques au cours de la méiose et de la fécondation. Il illustre le fait que la reproduction sexuée permet de « refaire du semblable [...] en imposant l'apparition du différent, seul garant de l'adaptation au milieu » : « la plus grande révolution que la Terre ait jamais connue. »

En effet, ces processus assurent la diversité au sein des espèces mais entraînent également la diversification du monde vivant. La deuxième partie de l'article est hors programme, elle renseigne sur les modes de reconnaissance des gamètes et l'apparition de la fécondation interne. Le « marathon » que constitue le trajet des spermatozoïdes jusqu'à l'ovule permet de rappeler le hasard de la rencontre des gamètes, parmi de nombreuses possibilités.

LE GUIDE PRATIQUE



LES SVT AU BAC

Coefficient : 6 ou 8 pour les candidats ayant choisi la SVT comme enseignement de spécialité.

Épreuve pratique (évaluation des compétences expérimentales) : sur 4 points ; durée : 1 h.

Épreuve écrite : sur 16 points ; durée : 3 h 30.

PARTIE 1
DE L'ÉCRIT

Notée sur 8 points, elle évalue la maîtrise des connaissances acquises dans le cadre du programme spécifique de SVT. Le questionnement se présente sous forme d'un QCM ou d'une question de synthèse qui peuvent éventuellement s'appuyer sur un ou plusieurs documents. Cette partie peut porter sur une, plusieurs ou toutes les parties du programme.

PARTIE 2
DE L'ÉCRIT

Notée sur 8 points, elle évalue la pratique du raisonnement scientifique et de l'argumentation. Elle comporte deux exercices :

- le premier exercice, noté sur 3 points, évalue la capacité du candidat à raisonner dans le cadre d'un problème scientifique proposé par le sujet, en s'appuyant sur l'exploitation d'un nombre réduit de documents. Le questionnement se présente sous forme d'un QCM ou d'une question ouverte ;
- le second exercice, noté sur 5 points, évalue la capacité du candidat à pratiquer une démarche scientifique dans le cadre d'un problème scientifique à partir de l'exploitation d'un ensemble de documents et en utilisant ses connaissances.

Pour les candidats qui n'ont suivi que l'enseignement spécifique de SVT, les deux exercices de la partie 2 peuvent porter sur la même partie ou non du programme spécifique. Pour les candidats ayant choisi la spécialité SVT, le second exercice de la partie 2 porte sur l'un des thèmes de spécialité.

Épreuve écrite de SVT



Partie 1 : Maîtriser ses connaissances

Cette partie, qui porte sur une ou plusieurs parties du programme spécifique, a pour objectif d'évaluer les connaissances du candidat selon l'une des modalités variables :

- une **question de synthèse** portant sur une ou plusieurs parties du programme spécifique ;
- un **QCM** portant sur une partie ou plusieurs parties du programme spécifique, voire tout le programme. Ce QCM peut prendre appui sur des documents ;
- l'**association d'un QCM (avec ou sans documents) et d'une question de synthèse**.

Dans la question de synthèse sont évaluées la **maîtrise des connaissances** du candidat et sa capacité à les mobiliser et à les présenter de manière cohérente pour **répondre à la question posée**. La **qualité de la rédaction** est un critère important de l'évaluation. Il est donc essentiel d'identifier précisément la **problématique** à partir de l'énoncé pour délimiter le sujet et ainsi éviter tout hors-sujet ou tout oubli d'une partie du sujet. La réponse attendue doit contenir une **introduction** (qui définit les termes du sujet, pose clairement la problématique et annonce le plan), un **développement cohérent** et une **conclusion** (qui propose un bilan répondant à la problématique puis une ouverture vers un thème voisin du sujet étudié). Le développement est structuré en différents paragraphes dont chacun développe un aspect du sujet de manière cohérente et argumentée. Des titres numérotés mis en valeur peuvent être présents mais ne sont pas exigibles. Le **travail au brouillon** est impératif pour construire le plan de la synthèse : lisez bien l'énoncé, qui peut indiquer le plan à suivre, et mobilisez les notions vues en cours

se rapportant au sujet. Prévoyez alors les **schémas** nécessaires pour illustrer les notions choisies. Dans tous les cas, suivez bien les consignes de l'énoncé (par exemple un schéma-bilan est souvent exigé). Les schémas doivent être assez grands, clairs, en couleurs et accompagnés de légendes et d'un titre. Dans le cas d'un QCM, pour chaque question, quatre propositions sont faites. Une seule proposition est exacte, les autres sont fausses. Il ne faut **jamais cocher deux propositions** car cela invalide automatiquement la réponse. En général, seules les bonnes réponses rapportent des points et l'absence de réponse ou une réponse erronée n'enlève pas de point. Les candidats ont donc toujours intérêt à cocher une proposition, même s'ils ne sont pas sûrs de leur réponse.

Partie 2 – Exercice 1 : Reasonner dans le cadre d'un problème scientifique

Cet exercice de la partie 2 porte sur le programme spécifique et vise à évaluer la capacité du candidat à **raisonner dans le cadre d'un problème scientifique** proposé par le sujet, en s'appuyant sur l'exploitation d'un nombre réduit de documents. La réponse peut se présenter sous forme d'un QCM ou d'une réponse rédigée.

Dans le cas d'une réponse rédigée, il s'agit de construire un raisonnement répondant au problème posé en exploitant les informations contenues dans les documents. Il peut s'agir par exemple de comparer des éléments, d'argumenter, d'extraire et d'organiser des informations, de relier des informations entre elles à partir des documents fournis, etc.

La **qualité** et la **rigueur du raisonnement** sont les principaux critères de l'évaluation de cet exercice. Aucune restitution de connaissances n'est exigée mais les connaissances du candidat peuvent être utiles pour **analyser les documents**. La réponse attendue comporte, en général, une courte **introduction** posant la problématique et un **développement structuré** en différents paragraphes (sans titres apparents) qui présentent le raisonnement.

Dans le cas d'un QCM, il faut choisir à partir de l'exploitation des documents la **bonne réponse parmi les quatre propositions** présentées pour chaque question. Comme pour la partie 1, aucune justification écrite n'est attendue, mais la lecture attentive des documents et leur compréhension sont indispensables pour sélectionner les bonnes réponses du QCM.

Partie 2 – Exercice 2 : Pratiquer une démarche scientifique

Cet exercice porte soit sur le programme spécifique pour les candidats n'ayant pas choisi la spécialité SVT, soit sur un des thèmes de spécialité pour les candidats ayant choisi la spécialité SVT.

L'objectif est d'évaluer la capacité du candidat à **pratiquer une démarche scientifique** dans le cadre de la **résolution d'un problème scientifique** en exploitant différents documents **mis en relation** et en **mobilisant ses connaissances**. Le candidat doit exposer sa démarche personnelle de résolution du problème en élaborant une véritable **argumentation** qui conduit à une résolution possible du problème posé et en proposant un **conclusion** répondant à ce problème. L'énoncé précise souvent qu'aucune étude exhaustive des documents n'est attendue : il ne s'agit pas d'analyser les documents dans leur intégralité mais d'en **extraire les informations** utiles à la résolution du problème posé, de les relier entre elles et aux connaissances du candidat.

Dans cet exercice sont principalement évaluées la **cohérence de la démarche** proposée par le candidat, sa capacité à **justifier ses choix** dans la résolution du problème et à **faire preuve d'esprit critique**. Plusieurs démarches de résolution du problème peuvent être possibles : le candidat choisit celle qui lui paraît la plus appropriée en la justifiant rigoureusement à l'aide des informations extraites des documents.

La réponse attendue comporte, en général, une **introduction** présentant la problématique, un **développement structuré** en différents paragraphes (sans titres apparents) présentant la démarche de résolution, puis une **conclusion** résumant la résolution du problème. Le candidat doit veiller à bien **respecter la forme de la réponse exigée** par l'énoncé : compte-rendu d'une sortie sur le terrain, analyse d'un projet technique, etc. Les documents ne sont pas à analyser dans l'ordre donné par l'énoncé mais selon l'**ordre logique** pour résoudre le problème. Un **travail au brouillon** est nécessaire pour analyser les documents, sélectionner les



informations issues des documents permettant de traiter la problématique, puis construire le plan de la réponse à l'aide des éléments issus des documents, mis en relation entre eux et avec les éléments de connaissances nécessaires.

Préparer l'épreuve du bac

Au cours de l'année, au fur et à mesure des chapitres, réalisez des **fiches** où figurent le plan du cours, les notions essentielles, les définitions des mots clés ainsi que les schémas importants à connaître. Ce travail permet de sélectionner les **notions essentielles**, de les mémoriser et les revoir rapidement lors des révisions avant les épreuves. Retravaillez bien les corrections des évaluations faites en classe et entraînez-vous sur des sujets de type bac.

Développer votre culture générale

Les sujets font de plus en plus appel à votre culture générale. Celle-ci vous sera également utile pour la suite de vos études, pour des concours ou des entretiens. Suivez les **grandes lignes de l'actualité** régulièrement (radio, télévision, presse écrite papier ou numérique) et approfondissez, par des **lectures**, les sujets qui peuvent se référer au programme. Les articles du *Monde* proposés ici visent à vous faciliter cette ouverture sur l'actualité et la mise relation entre avec les recherches scientifiques et le cours enseigné. ●

GÉRER
SON TEMPS

Consacrez 10 minutes en début d'épreuve à la lecture de l'ensemble du sujet et au choix de l'ordre dans lequel vous allez traiter les exercices. Fixez alors une durée de travail pour chaque exercice et veillez à la respecter au mieux en contrôlant régulièrement l'heure. Traitez l'ensemble du sujet même si vous maîtrisez moins bien une partie du programme. Avant la fin de l'épreuve, prévoyez 5 à 10 minutes pour relire votre copie et corriger les fautes de sens et d'orthographe.

GÉRER
SON STRESS

La veille de l'épreuve, évitez les révisions intensives tardives et essayez d'arriver en forme, détendu mais motivé, le jour des épreuves. Préparez votre matériel pour composer (y compris une boisson et un petit en-cas). Avant le début de l'épreuve, prenez quelques minutes pour vous détendre en respirant calmement. Essayez de faire de votre mieux quelles que soient les difficultés rencontrées et profitez du temps imparti à l'épreuve pour améliorer votre copie.

ÉPREUVE
ORALE DE
RATTRAPAGE

Préparation : 20 minutes.

Présentation : 20 minutes.

Le candidat tire au sort un sujet de deux questions. Pour les candidats qui n'ont pas choisi la spécialité SVT, elles portent sur deux parties différentes du programme spécifique de SVT. Pour les candidats ayant choisi la spécialité SVT, une question porte sur le programme spécifique et l'autre sur l'un des thèmes de spécialité. Les sujets comportent des documents semblables à ceux étudiés en cours durant l'année. Comme l'épreuve a lieu dans une salle comportant du matériel de SVT, le candidat peut être interrogé sur le matériel expérimental et son utilisation, sans être amené à le manipuler.

Crédits

GÉNÉTIQUE ET ÉVOLUTION

Le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique

p. 6 gauche, DR, droite © Lézarts Création ; p. 7, DR ; p. 8, DR ; p. 9, © RDE.

Diversification génétique et diversification des êtres vivants

p. 12 © RDE ; p. 13 haut © RDE, bas, DR, chimpanzé © Marcel Schauer/ Fotolia ;

p. 14 colonne © Istockphoto/ Thinkstock, partie centrale © Lézarts Création ; p. 15 DR.

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

p. 18 colonne haut © RDE, colonne bas © Istockphoto/ Thinkstock, partie centrale © Lézarts Création ;

p. 19 partie centrale © RDE, colonne © Istockphoto/ Thinkstock, 20 DR ;

p. 21 partie centrale DR, colonne © Istockphoto/ Thinkstock.

Un regard sur l'évolution de l'homme

p. 24 © RDE ; p. 25, DR ; p. 26 © RDE ;

Les relations entre organisation et mode de vie, résultat de l'évolution :

l'exemple de la vie fixée chez les plantes

p. 30 DR ; p. 31 DR ; p. 32 DR ; p. 33 DR ;

LE DOMAINE CONTINENTAL ET SA DYNAMIQUE

La caractérisation du domaine continental :

lithosphère continentale, reliefs et épaisseur crustale

p. 38 colonne et partie centrale droite © Lézarts Création, partie centrale gauche DR ; p. 39 partie centrale haut DR, partie centrale bas et colonne © RDE ; p.40 DR.

Contexte de la formation des chaînes de montagnes et disparition des reliefs

p. 44 © Lézarts Création ; p. 45 partie centrale gauche © Lézarts Création, partie centrale droite DR, colonne © RDE ; p.46 carte

© Lézarts Création, autres visuels DR ; p.47 © RDE

Le magmatisme en zone de subduction : une production de nouveaux matériaux continentaux

p.50 partie centrale gauche DR, partie centrale droite © RDE ; p. 51 © Lézarts Création ;

p. 52 en haut © Lézarts Création, en bas © RDE

ENJEUX PLANÉTAIRES CONTEMPORAINS

Géothermie et propriétés thermiques de la Terre

p. 56 DR ; p. 57 DR ; p. 58 gauche DR, droite © RDE

La plante domestiquée

p. 60 © Lézarts Création ; p.61 gauche DR, droite © RDE ; p. 62 © RDE

LE MAINTIEN DE L'INTÉGRITÉ DE L'ORGANISME : QUELQUES ASPECTS DE LA RÉACTION IMMUNITAIRE

La réaction inflammatoire, un exemple de réponse innée

p. 66 haut et bas © Hemera/ Thinkstock ; p. 67 © RDE ; p. 69 DR

L'immunité adaptative, prolongement de l'immunité innée

p. 72 DR ; p. 73 haut DR, bas © Lézarts Création ; p. 74 © Istockphoto/ Thinkstock

Le phénotype immunitaire au cours de la vie

p. 79 haut DR, bas droite © Lézarts Création ; p. 80 © RDE

NEURONE ET FIBRE MUSCULAIRE : LA COMMUNICATION NERVEUSE

Le réflexe myotatique, un exemple de commande réflexe du muscle

p. 84 © Lézarts Création ; p. 85 haut © Lézarts Création, bas DR ; p. 86 © RDE

Motricité volontaire et plasticité cérébrale

p. 88 © RDE ; p. 89 © RDE ; p. 90 © Hemera/ Thinkstock

LE GUIDE PRATIQUE

p. 93 © Istockphoto ; p. 94 © Istockphoto/ Thinkstock ; p. 95 © Purestock/ Thinkstock



S'intéresser aux problèmes de l'éducation, c'est bien.
Être actif pour tenter de les résoudre, c'est mieux.

www.agissons pour leducation.fr

DÉCOUVREZ TOUTES LES ACTIONS CONCRÈTES DE LA MAIF
EN FAVEUR DE L'ÉDUCATION

